



**Universidade de Aveiro**  
**2009**

Departamento de Electrónica,  
Telecomunicações e Informática

**Sara Catarina**  
**Rasteiro Coelho**

**Fibra Óptica na Rede de Acesso:**  
**Tecnologias e Soluções**



**Universidade de Aveiro**  
**2009**

Departamento de Electrónica  
Telecomunicações e Informática

**Sara Catarina  
Rasteiro Coelho**

## **Fibra Óptica na Rede de Acesso: Tecnologias e Soluções**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Electrónica e Telecomunicações, realizada sob a orientação científica do Prof. Dr. A. Manuel Oliveira Duarte, Professor Catedrático do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro.

## **Júri**

### **Presidente**

Professor Doutor José Rodrigues Ferreira Rocha  
Professor Catedrático da Universidade de Aveiro

### **Vogal - Arguente Principal**

Professor Doutor Henrique José Almeida da Silva  
Professor Associado da Faculdade de Ciências e Tecnologia  
da Universidade de Coimbra

### **Vogal - Orientador**

Professor Doutor Aníbal Manuel Oliveira Duarte  
Professor Catedrático da Universidade de Aveiro

## **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer a todos aqueles que, de uma forma ou de outra, contribuíram para que este trabalho fosse concluído.

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao Professor Doutor A. Manuel Oliveira Duarte, orientador da dissertação, pela ajuda, orientação e motivação.

Aos meus pais, sem os quais teria sido impossível chegar aqui. Agradeço todo apoio, incentivo, motivação e paciência que tiveram ao longo do último ano. Agradeço todo o ânimo e os bons conselhos que me deram nos momentos mais difíceis.

Aos amigos: Marujo, Luís, Brochado, Mafalda, Zé, que me acompanharam durante vários anos, pelos bons momentos que passámos juntos.

A todo o pessoal do GSBL, especialmente ao Joni e ao Abílio pela ajuda e contribuição para este trabalho.

Aos amigos: Raul, Ana Francisca, João Ferraz, (este grupo fantástico) que estiveram sempre ao meu lado, com quem passei momentos incríveis e que podem sempre contar comigo. Agradeço todo o apoio que me deram.

Ao João Ramalinho, por ter tornado este último ano muito especial. Agradeço todo o carinho, força, companhia e paciência que tiveste comigo. Agradeço todo o apoio que me deste, por me dares ânimo nos momentos mais difíceis e todos os sermões (que eu precisava mesmo de ouvir) para me motivar a trabalhar.

**Palavras-chave**

Redes de Telecomunicações, Redes de Próxima Geração, Novas Redes de Acesso, Fibra Óptica, Análise Tecno-Económica

**Resumo**

O papel das tecnologias da informação tem-se mostrado cada vez mais importante, e tornou-se um factor essencial para o desenvolvimento económico e social. As tecnologias de telecomunicação facilitam o acesso à informação, proporcionando novas oportunidades de actividade económica e de desenvolvimento cultural e social. Por outro lado, este desenvolvimento leva a um aumento na procura de novos serviços e aplicações. Este aumento na procura é um factor importante para o desenvolvimento das novas tecnologias de acesso, estimulando a instalação de novas infra-estruturas, para que sejam atingidos os requisitos de capacidade da rede.

A implementação de uma nova rede de telecomunicações tem como objectivos fornecer um acesso mais generalizado aos serviços de banda larga e fornecer as infra-estruturas de telecomunicações que permitam aos utilizadores a utilização dos serviços e aplicações de banda larga, incentivando o aparecimento de novas oportunidades de desenvolvimento e modernização económica e social.

A escolha da melhor solução de rede depende de vários factores, pelo que é necessário estudar a viabilidade de projectos de implementação de redes de telecomunicações.

Esta dissertação foi desenvolvida no âmbito de analisar as actuais redes de telecomunicações e realizar um estudo sobre um projecto de implementação de redes de telecomunicações, efectuando uma análise técnico-económica do projecto.

**Keywords**

Telecommunication Networks, Next Generation Networks, Next Generation Access, Fiber Optics, Techno-Economics Analysis.

**Abstract**

The role of information technology has proven to be increasingly important, and has become a key factor for economic and social development. The telecommunication technologies facilitate access to information, providing new opportunities for economic activity and social and cultural development. On the other hand, this development leads to an increase in demand for new services and applications. This increase in demand is an important factor for the development of new access technologies, encouraging the installation of new infrastructure for the achievement of the demands for network capacity.

The deployment of a new telecommunications network aims to provide wider access to broadband services and provide infrastructure for telecommunications that enables users to use the services and broadband applications, encouraging the emergence of new opportunities and economic and social modernization

Choosing the best network solution depends on several factors, so it is necessary to study the feasibility of projects of telecommunications networks deployment.

This work was developed in the context of examining the existing telecommunications networks, and to conduct a study on the deployment of telecommunications networks, by performing a technical and economic analysis of the project.

# Índice

Índice de Figuras .....	5
Índice de Tabelas .....	9
Lista de Siglas e Acrónimos .....	11
<b>1. Introdução.....</b>	<b>15</b>
1.1. <i>Motivação e Enquadramento</i> .....	15
1.2. <i>Objectivos</i> .....	16
1.3. <i>Estrutura da Dissertação</i> .....	16
<b>2. Organização e estrutura das Redes de Telecomunicações .....</b>	<b>19</b>
2.1. <i>Rede de Interligação (Core Network)</i> .....	20
2.2. <i>Rede de acesso</i> .....	22
2.3. <i>Rede do cliente</i> .....	23
2.4. <i>Traços dominantes das actuais Redes de Telecomunicações</i> .....	24
2.5. <i>Suportes físicos de transmissão utilizados nas redes de acesso</i> .....	26
2.5.1. Par entrançado de cobre.....	26
2.5.1.1. Rede telefónica fixa .....	26
2.5.1.2. RDIS (Rede Digital com Integração de Serviços) .....	27
2.5.1.3. Rede xDSL .....	28
2.5.2. Cabo coaxial de cobre .....	31
2.5.2.1. Redes CATV .....	31
2.5.3. Wireless.....	34
2.5.3.1. Rádio na rede de acesso .....	34
2.5.3.1.1. GSM .....	34
2.5.3.1.2. GPRS .....	34
2.5.3.1.3. UMTS .....	35
2.5.3.1.4. HSDPA.....	35
2.5.3.1.5. Wi-Fi .....	35
2.5.3.1.6. WiMAX.....	35
2.5.3.1.7. Difusão em espaço livre.....	36
2.5.4. Redes de fibra óptica.....	37

2.5.4.1.	Fibra óptica.....	37
2.5.4.1.1.	Constituição da fibra óptica .....	37
2.5.4.1.2.	Vantagens da fibra óptica .....	38
2.5.4.1.3.	Propriedades de transmissão da fibra óptica.....	38
2.5.5.	Redes híbridas.....	39
<b>3.</b>	<b>Soluções de rede num contexto FTTX .....</b>	<b>41</b>
3.1.	<i>Arquitecturas FTTx</i> .....	41
3.1.1.	Fiber To The Node/ Fiber To The Cabinet .....	42
3.1.2.	Fiber To The Curb.....	42
3.1.3.	Fiber To The Building .....	43
3.1.4.	Fiber To The Home.....	45
3.2.	<i>Tecnologias e soluções de rede</i> .....	46
3.2.1.	Active Optical Networks vs Passive Optical Network .....	47
3.2.2.	Soluções de rede activas.....	48
3.2.2.1.	Home Run Fiber .....	48
3.2.2.2.	Active Ethernet.....	49
3.2.3.	Soluções de rede passivas (Passive Optical Network) .....	50
3.3.	<i>PON (Passive Optical Network)</i> .....	52
3.3.1.	Principais elementos da PON.....	53
3.3.1.1.	OLT (Optical Line Termination).....	53
3.3.1.2.	ONT (Optical Network Termination) .....	53
3.3.1.3.	ONU (Optical Network Unit).....	54
3.3.1.4.	Splitters.....	54
3.3.2.	Tecnologias PON .....	54
3.4.	<i>GPON</i> .....	56
3.4.1.	Princípios de Funcionamento GPON .....	56
3.4.2.	Características Técnicas .....	57
3.4.2.1.	Gama de comprimentos de onda .....	57
3.4.2.2.	Forward error correction.....	58
3.4.2.3.	Dinamic Bandwidth Allocation .....	58
3.4.2.4.	T-CONT .....	58
3.4.2.5.	Sincronização.....	59
3.4.2.6.	Ranging.....	59
3.4.2.7.	Segurança .....	59
3.4.2.8.	Protecção.....	60



3.4.2.9.	GPON Protection Schemes .....	60
3.4.2.10.	Transmissão GPON .....	62
3.4.3.	Splitter Óptico .....	62
3.4.4.	Algumas características do GPON .....	62
3.5.	<i>EPON</i> .....	63
3.5.1.	Princípio de funcionamento .....	64
3.5.1.1.	Transmissões no sentido descendente ( <i>downstream</i> ) .....	64
3.5.1.2.	Transmissões no sentido ascendente ( <i>upstream</i> ) .....	65
3.5.1.3.	MPCP (Multi-Point Control Protocol).....	66
3.5.1.4.	Modo de operação entre OLT e ONU.....	66
3.5.2.	Forward Error Correction .....	67
3.6.	<i>Tendências da evolução</i> .....	68
3.6.1.	Next Generation PON.....	68
3.6.2.	10GPON .....	70
3.6.3.	WDM-PON .....	70
3.6.4.	Long Reach PON .....	73
<b>4.</b>	<b>Análise Tecno-Económica de uma solução FTTx .....</b>	<b>75</b>
4.1.	<i>Propósito</i> .....	75
4.2.	<i>Metodologia</i> .....	75
4.3.	<i>Ferramenta de cálculo</i> .....	76
4.3.1.	Parâmetros de entrada .....	76
4.3.2.	Parâmetros de saída.....	77
4.4.	<i>Descrição dos serviços</i> .....	77
4.5.	<i>Componentes da rede</i> .....	78
4.5.1.	Pressupostos relativamente a custos.....	78
4.5.1.1.	Instalação das infra-estruturas utilizando fibra .....	79
4.5.1.2.	Equipamento no <i>Central Office</i> .....	79
4.5.1.3.	<i>Splitters</i> passivos.....	80
4.5.1.4.	Cablagem dentro dos edifícios.....	80
4.5.1.5.	CPE .....	80
4.5.2.	Formas de diminuir os custos da infra-estrutura passiva .....	80
4.6.	<i>Descrição do cenário analisado</i> .....	81
4.7.	<i>Modelo de penetração dos serviços</i> .....	81

4.8.	<i>Outros parâmetros</i> .....	84
4.9.	<i>Resultados económicos</i> .....	84
4.9.1.	Considerações para análise de projectos de investimento .....	84
4.10.	<i>Tipologias de rede</i> .....	85
4.11.	<i>Tipologia A</i> .....	86
4.11.1.	<i>Central Office</i> .....	87
4.11.2.	<i>Feeder Network</i> .....	90
4.11.3.	<i>Distribution Network</i> .....	92
4.11.4.	<i>Drop Network</i> .....	94
4.11.5.	Visão global dos investimentos.....	97
4.11.6.	Receitas.....	100
4.11.7.	Resultados económicos mais relevantes .....	102
4.12.	<i>Tipologia B</i> .....	104
4.12.1.	<i>Central Office</i> .....	104
4.12.2.	<i>Feeder Network</i> .....	107
4.12.3.	<i>Distribution Network</i> .....	110
4.12.4.	<i>Drop Network</i> .....	112
4.12.5.	Visão global dos investimentos.....	114
4.12.6.	Receitas.....	116
4.12.7.	Resultados económicos mais relevantes .....	118
4.13.	<i>Tipologia C</i> .....	120
4.13.1.	<i>Central Office</i> .....	121
4.13.2.	<i>Feeder Network</i> .....	124
4.13.3.	<i>Drop Network</i> .....	126
4.13.4.	Visão global dos investimentos.....	128
4.13.5.	Receitas.....	131
4.13.6.	Resultados económicos mais relevantes .....	133
4.14.	<i>Análise comparativa das três tipologias</i> .....	135
5.	<b>Considerações Finais</b> .....	137
6.	<b>Bibliografia</b> .....	141

## Índice de Figuras

Figura 1 – Tipos de redes de telecomunicações.....	19
Figura 2 – Segmentos de rede [ref. 7] .....	19
Figura 3 – Diferentes tecnologias e serviços utilizados actualmente nos diferentes segmentos de rede [ref. 7].....	20
Figura 4 – Topologia em anel duplo utilizada no SDH [ref. 7] .....	21
Figura 5 – Estrutura de multiplexagem da trama SDH [ref. 7] .....	21
Figura 6 – IP como tecnologia convergente [ref. 7] .....	25
Figura 7 – Par entrançado de cobre [ref. 21] .....	26
Figura 8 – Rede de acesso da rede telefónica [ref. 4] .....	27
Figura 9 - ADSL.....	28
Figura 10 – Configuração espectral do ADSL [ref. 7] .....	29
Figura 11 – Variação da taxa de transmissão (Mbps) com a distância (km) ao DSLAM [ref. 11] .....	30
Figura 12 – Cabo coaxial [ref. 21] .....	31
Figura 13 – Estrutura de uma rede de distribuição por cabo [ref. 7] .....	32
Figura 14 – Ligação DOCSIS .....	33
Figura 15 – Constituição do cabo de fibra óptica [ref.12] .....	37
Figura 16 – Relação entre o comprimento de onda e a atenuação na fibra óptica [ref.10] .....	38
Figura 17 – FTTx.....	41
Figura 18 - FTTN.....	42
Figura 19 – FTTB (GPON) .....	44
Figura 20 – FTTB (Ethernet) .....	44
Figura 21 – FTTH (GPON) .....	45
Figura 22 – FTTH (Ethernet).....	46
Figura 23 – Home Run Fiber .....	48
Figura 24 – Active Ethernet .....	49
Figura 25 - PON.....	50
Figura 26 – PON com splitters perto das residências .....	51
Figura 27 – PON com <i>splitters</i> nos armários de rua .....	51
Figura 28 – PON com splitter no Central Office .....	51
Figura 29 – GPON .....	56
Figura 30 – GPON [ref. 22].....	57
Figura 31 – Tipo A [ref. 13] .....	60
Figura 32 – Tipo B [ref. 13] .....	61
Figura 33 – Tipo C [ref. 13] .....	61

Figura 34 – Tipo D [ref. 13].....	62
Figura 35 – Topologia EPON [ref. 24] .....	64
Figura 36 – <i>Downstream</i> em EPON [ref. 9] .....	65
Figura 37 – <i>Upstream</i> em EPON [ref. 9] .....	65
Figura 38 – Percurso da mensagem GATE do OLT até ao ONU [ref. 9] .....	66
Figura 39 – Mensagem REPORT [ref. 9] .....	67
Figura 40 – DWDM-PON [ref. 19].....	69
Figura 41 – WDM-PON [ref. 24] .....	70
Figura 42 – WDM-PON [ref. 24] .....	71
Figura 43 – Solução WDM-PON híbrida utilizando <i>splitters</i> [ref. 19] .....	72
Figura 44 – WDM-PON utilizando filtros sintonizáveis no ONU [ref. 19].....	72
Figura 45 - Estrutura da ferramenta de análise tecno-económica [ref. 20].....	76
Figura 46 – Evolução da taxa de penetração para o cenário 1 .....	83
Figura 47 – Evolução da taxa de penetração para o cenário 2 .....	83
Figura 48 – Evolução da taxa de penetração para o cenário 3 .....	83
Figura 49 – Rede GPON .....	85
Figura 50 – Tipologia A.....	86
Figura 51 – <i>Central Office</i> .....	87
Figura 52 – Investimentos C.O. para o cenário 1 .....	88
Figura 53 – Investimentos C.O para o cenário 2 .....	88
Figura 54 – Investimentos C.O. para o cenário 3 .....	89
Figura 55 – Investimentos no <i>Central Office</i> .....	90
Figura 56 – Investimentos <i>feeder network</i> para o cenário 1 .....	91
Figura 57 – Investimentos <i>feeder network</i> para o cenário 2 .....	91
Figura 58 – Investimentos <i>feeder network</i> cenário 3.....	91
Figura 59 – Investimentos <i>feeder network</i> .....	92
Figura 60 – Investimentos <i>distribution network</i> para o cenário 1 .....	93
Figura 61 – Investimentos <i>distribution network</i> para o cenário 2 .....	93
Figura 62 – Investimentos <i>distribution network</i> para o cenário 3 .....	93
Figura 63 – Investimentos <i>distribution network</i> .....	94
Figura 64 – Investimentos <i>drop network</i> para o cenário 1 .....	95
Figura 65 – Investimentos <i>drop network</i> para o cenário 2 .....	96
Figura 66 – Investimentos <i>drop network</i> para o cenário 3 .....	96
Figura 67 – Investimentos <i>drop network</i> .....	97
Figura 68 – Investimentos globais Tipologia A.....	97
Figura 69 – Investimentos globais para o cenário 1.....	98
Figura 70 – Investimentos globais para o cenário 2.....	99

Figura 71 – Investimentos globais para o cenário 3 .....	99
Figura 72 – Receitas geradas .....	100
Figura 73 – Comparação entre receitas e custo por utilizador para o cenário 1.....	101
Figura 74 - Comparação entre receitas e custo por utilizador para o cenário 2 .....	101
Figura 75 - Comparação entre receitas e custo por utilizador para o cenário 3 .....	101
Figura 76 – Resultados económicos para o cenário 1 .....	102
Figura 77 – Resultados económicos para o cenário 2 .....	103
Figura 78 – Resultados económicos para o cenário 3 .....	103
Figura 79 – Tipologia B .....	104
Figura 80 – <i>Central Office</i> .....	104
Figura 81 – Investimentos C.O. para o cenário 1.....	105
Figura 82 – Investimentos C.O. para o cenário 2.....	106
Figura 83 – Investimentos C.O. para o cenário 3.....	106
Figura 84 – Investimentos no <i>Central Office</i> .....	107
Figura 85 – Investimentos <i>feeder network</i> para o cenário 1.....	108
Figura 86 – Investimentos <i>feeder network</i> para o cenário 2.....	108
Figura 87 – Investimentos <i>feeder network</i> para o cenário 3.....	109
Figura 88 – Investimentos <i>feeder network</i> .....	109
Figura 89 – Investimentos <i>distribution network</i> para o cenário 1.....	110
Figura 90 – Investimentos <i>distribution network</i> para o cenário 2 .....	110
Figura 91 – Investimentos <i>distribution network</i> para o cenário 3.....	111
Figura 92 – Investimentos <i>distribution network</i> .....	111
Figura 93 – Investimentos <i>drop network</i> para o cenário 1.....	112
Figura 94 – Investimentos <i>drop network</i> para o cenário 2.....	113
Figura 95 – Investimentos <i>drop network</i> para o cenário 3.....	113
Figura 96 – Investimentos <i>drop network</i> .....	114
Figura 97 – Investimentos globais Tipologia B .....	114
Figura 98 – Investimentos globais para o cenário 1 .....	115
Figura 99 – Investimentos globais para o cenário 2 .....	115
Figura 100 – Investimentos globais para o cenário 3 .....	115
Figura 101 – Receitas geradas .....	116
Figura 102 – Comparação entre receitas e custo por utilizador para o cenário 1 .....	117
Figura 103 – Comparação entre receitas e custo por utilizador para o cenário 2 .....	117
Figura 104 – Comparação ente receber e custo por utilizador para o cenário 3 .....	118
Figura 105 – Resultados económicos para o cenário 1 .....	119
Figura 106 – Resultados económicos para o cenário 2 .....	119
Figura 107 – Resultados económicos para o cenário 3 .....	119

Figura 108 – Tipologia C .....	120
Figura 109 – <i>Central Office</i> .....	121
Figura 110 – Investimentos C.O. para o cenário 1 .....	122
Figura 111 – Investimentos C.O. para o cenário 2 .....	122
Figura 112 – Investimentos C.O. para o cenário 3 .....	123
Figura 113 – Investimentos no <i>Central Office</i> .....	124
Figura 114 – Investimentos <i>feeder network</i> para o cenário 1 .....	124
Figura 115 – Investimentos <i>feeder network</i> para o cenário 2 .....	125
Figura 116 – Investimentos <i>feeder network</i> para o cenário 3 .....	125
Figura 117 – Investimentos <i>feeder network</i> .....	126
Figura 118 – Investimentos <i>drop network</i> para o cenário 1 .....	127
Figura 119 – Investimentos <i>drop network</i> para o cenário 2 .....	127
Figura 120 – Investimentos <i>drop network</i> para o cenário 3 .....	127
Figura 121 – Investimentos <i>drop network</i> .....	128
Figura 122 – Investimentos globais Tipologia C .....	129
Figura 123 – Investimentos globais para o cenário 1 .....	129
Figura 124 – Investimentos globais para o cenário 2 .....	130
Figura 125 – Investimentos globais para o cenário 3 .....	130
Figura 126 – Receitas geradas .....	131
Figura 127 – Comparação entre receitas e custo por utilizador para o cenário 1 .....	132
Figura 128 – Comparação entre receitas e custo por utilizador para o cenário 2 .....	132
Figura 129 – Comparação entre receitas e custo por utilizador para o cenário 3 .....	132
Figura 130 – Resultados económicos para o cenário 1 .....	133
Figura 131 – Resultados económicos para o cenário 2 .....	134
Figura 132 – Resultados económicos para o cenário 3 .....	134

## Índice de Tabelas

Tabela 1 – Taxas de transmissão para GPON .....	57
Tabela 2 – Caracterização do cenário.....	81
Tabela 3 – Valores utilizados no cálculo das taxas de penetração .....	82
Tabela 4 – Evolução da taxa de penetração .....	82
Tabela 5 – Resultados económicos.....	102
Tabela 6 – Resultados económicos.....	118
Tabela 7 – Resultados económicos.....	133
Tabela 8 – Comparação dos resultados económicos das três tipologias .....	135





## Lista de Siglas e Acrónimos

ADM – Add-Drop Multiplexer  
ADSL – Assymmetric Digital Subscriber Line  
AES - Advanced Encryption Standard  
AON – Active Optical Network  
APON – ATM Passive Optical Network  
ATM - Asynchronous Transfer Mode  
AWG - Arrayed Waveguide Grating  
BPON - Broadband PON  
BRI - Basic Rate ISDN  
BT - British Telecom  
CAPEX - Capital Expenditure  
CATV - Community Antenna Television  
CM - Cable Modem  
CMTS - Cable Modem Termination System  
CO – Central Office  
CPE – Customer Premises Equipment  
DAB - Digital Audio Broadcasting  
DBA – Dynamic Bandwidth Allocation  
DOCSIS -Data Over Cable Service Interface Specification  
DSL - Digital Subscriber Line  
DSLAM - Digital Subscriber Line Access Multiplexer  
DTT – Digital Terrestrial Television  
DWDM – Dense Wavelength Division Multiplexing  
ESON - Ethernet Switched Optical Network  
EPON – Ethernet Passive Optical Network  
FBT - Fused Biconical Taper  
FE – Fast Ethernet  
FEC - Forward Error Correction  
FM - Frequency Modulated  
FR -Frame Relay  
FSAN - Full Service Access Network  
FTTB - Fiber To The Building  
FTTC - Fiber To The Curb  
FTTCab - Fiber To The Cabinet  
FTTH - Fiber To The Home  
FTTN – Fiber to the Node

FTTP - Fiber To The Premises  
FTTx - Fibre to the x  
GE – Gigabit Ethernet  
GEM - GPON Encapsulation Method  
GPON - Gigabit Passive Optical Network  
GPRS - General Packet Radio Services  
GSM - Global Systems for Mobile communications  
HDSL - High-data-rate Digital Subscriber Line  
HFC - Hybrid Fibre/Coax  
HSDPA - High-Speed Downlink Packet Access  
IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers  
IP – Internet Protocol  
IPTV – Internet Protocol for Television  
IRR – Internal Rate of Return  
ISDN – Integrated Services Digital Network  
ITU - International Telecommunication Union  
JFO - Junta de Fibra Óptica  
JSO - Junta de Splitting Óptico  
LAN – Local Area Network  
LLID - Logical Link ID  
LLU - Local Loop Unbundling  
LR-PON - Long-Reach PONs  
MAC - Media Access Control  
Mbps – Mega bit por segundo  
MDF -Main Distribution Frame  
MDU – Multi Dwelling Unit  
MPCP - Multi-Point Control Protocol  
MPLS - Multi-Protocol Label Switching  
NGA – Next Generation Access  
NGN – Next Generation Network  
NPV -Net Present Value  
NRA - Novas Redes de Acesso  
OAM - Operations, Administration and Maintenance  
OAN - Optical Access Network  
ODF - Optical Distribution Frame  
ODN – Optical Distribution Network  
OLT - Optical Line Termination  
ONT - Optical Network Termination  
ONU - Optical Network Unit

OPEX - Operational Expenditure  
 OSP - Outside Plant  
 PCM – Pulse Code Modulation  
 PDO - Ponto de Distribuição Óptica  
 PLC - Planar Lightwave Circuit  
 PON - Passive Optical Network  
 POP – Point Of Presence  
 POTS - Plain Old Telephone Service  
 PRI – Primary Rate ISDN  
 PSTN – Public Switch Telephone Network  
 QoS – Quality of Service  
 RDIS - Rede Digital com Integração de Serviços  
 RF – Rádio Frequência  
 RP - Repartidor Principal  
 RTT – Round Trip Time  
 SDH - Synchronous Digital Hierarchy  
 SDSL - Symmetrical Digital Subscriber Line  
 SDU – Single Dwelling Unit  
 SFU – Single Family Unit  
 SHDSL - Symmetric High-Speed Digital Subscriber Line  
 SMF – Single Mode Fiber  
 SMS - Small Messages Service  
 SONET - Synchronous Optical Network  
 SR – Sub Repartidor  
 SRO - Sub-Repartidor Óptico  
 STM – Synchronous Transfer Mode  
 T-CONT - Traffic Containers  
 TDM - Time Division Multiplexing  
 TDMA - Time Division Multiple Access  
 TIR Taxa Interna de Rendibilidade  
 UHF - Ultra High Frequency  
 UMTS - Universal Mobile Telecommunications System  
 VAL - Valor Actual Líquido  
 VDSL - Very-high-speed Digital Subscriber Line  
 VHF - Very High Frequency  
 VoD – Video on Demand  
 VoIP – Voice over IP  
 WDM - Wavelength Division Multiplexing  
 Wi-Fi - Wireless Fidelity

WiMAX - Worldwide Interoperability for Microwave Access

xDSL – Digital Subscriber Line

# 1. Introdução

## 1.1. Motivação e Enquadramento

Nos últimos anos temos vindo a assistir a alterações profundas nas redes de telecomunicações. O papel desempenhado pelas tecnologias da informação tem-se mostrado cada vez mais importante e estas tornaram-se num factor essencial para o desenvolvimento económico e social pelo que, a generalização do acesso à informação e da instalação destas redes se torna um imperativo.

As tecnologias de telecomunicações melhoram as possibilidades de contacto entre os vários agentes económicos, independentemente da sua localização, uma vez que facilitam o acesso à informação, proporcionando, ainda, novas oportunidades a nível da actividade económica e do desenvolvimento cultural e social. Este desenvolvimento leva, por seu lado, a que haja um aumento na procura de novos serviços e aplicações de forma a dar respostas à necessidade de comunicar em tempo real. Este aumento na procura tornou-se num factor importante para o desenvolvimento das novas tecnologias de acesso, estimulando a instalação de novas infra-estruturas, para que sejam atingidos os requisitos de capacidade da rede.

Verificamos que actualmente as várias redes de telecomunicações existentes estão a ser utilizadas para prestar serviços diferentes daqueles para que foram construídas, por exemplo, as redes telefónicas estão a ser utilizadas para acesso à Internet e as redes CATV dão acesso à Internet e a serviços telefónicos. Observa-se ainda uma mistura entre os objectivos iniciais de cada solução de rede e os serviços que são fornecidos sobre ela. Esta necessidade de fornecer serviços sobre infra-estruturas que não estão preparadas tecnologicamente para tal originou diversas ineficiências. Este facto obrigou as redes a evoluir, tanto a nível das infra-estruturas como a nível das tecnologias utilizadas, tornando possível transportar e encaminhar vários tipos de sinais e tráfego através da rede. A necessidade de transportar os vários tipos de sinais e tráfego através das redes está a fazer com que haja convergência das redes de telecomunicações. Esta evolução está a dar origem a um novo tipo de redes, as Redes de Próxima Geração (NGN). Estas redes (NGN) têm a capacidade de disponibilizar uma multiplicidade de serviços multimédia. São redes baseadas em pacotes capazes de prestar serviços de telecomunicações e fazer uso de múltiplas tecnologias de transporte de banda larga permitindo diferentes níveis de qualidade de serviço (QoS), em que as funções relacionadas com os serviços são independentes das tecnologias de transporte.

Esta dissertação foi desenvolvida com o objectivo de analisar a organização e a estrutura das actuais redes de telecomunicações, as suas tecnologias, arquitecturas e soluções de rede, dando

especial ênfase às diferentes soluções de rede e tecnologias que utilizam fibra óptica como meio físico de transmissão.

Verifica-se que a melhor solução de rede depende de vários factores, pelo antes de se fazer a escolha é necessário estudar a viabilidade de projectos de implementação de redes de telecomunicações. Neste contexto, foi realizado um estudo sobre um projecto de implementação de redes de telecomunicações e efectuada uma análise técnico-económica desse projecto.

## 1.2. Objectivos

Os objectivos que nortearam a elaboração desta dissertação foram os seguintes:

- Estudo da organização e estrutura das actuais redes de telecomunicações, suas tecnologias, arquitecturas e soluções de rede;
- Estudo das diferentes redes de acesso, analisando os diferentes meios físicos de transmissão utilizados;
- Identificação das diferentes soluções de rede e tecnologias para a rede de acesso, utilizando fibra óptica como meio de transmissão (soluções FTTx);
- Identificação dos principais elementos de custo das redes FTTx;
- Criação de uma base de dados de elementos de custo a utilizar no projecto de redes de acesso em espaços públicos, em edifícios e em urbanizações;
- Criação de um catálogo de soluções a utilizar em cada um dos contextos considerados para a implementação das novas redes de acesso (NRA);
- Fazer a análise técnico-económica de diferentes soluções de implementação de infra-estruturas físicas utilizadas em redes de acesso;

## 1.3. Estrutura da Dissertação

Esta dissertação é constituída por 5 capítulos, que têm a seguinte estrutura:

- **Capítulo 1 – Introdução:** Neste capítulo é apresentado o enquadramento desta dissertação e os objectivos a cumprir.
- **Capítulo 2 – Organização e estrutura das Redes de Telecomunicações:** Neste capítulo é apresentada a estrutura das actuais redes de telecomunicações e a forma como estas estão organizadas.
- **Capítulo 3 – Soluções de rede num contexto FTTx:** Este capítulo apresenta as soluções de rede que utilizam fibra óptica como meio de transmissão.
- **Capítulo 4 – Análise Técnico-Económica de soluções de rede:** Neste capítulo é apresentado um estudo de viabilidade da implementação de redes de acesso em fibra óptica.

- **Capítulo 5 – Considerações Finais:** Neste capítulo são apresentadas as conclusões resultantes de todo o trabalho desenvolvido e as perspectivas de trabalho a realizar no futuro.





## 2. Organização e estrutura das Redes de Telecomunicações

A infra-estrutura básica das redes de telecomunicações está representada nas figuras seguintes, onde se podem identificar os diferentes segmentos de rede, que utilizam diferentes tecnologias de transmissão, comutação e encaminhamento.

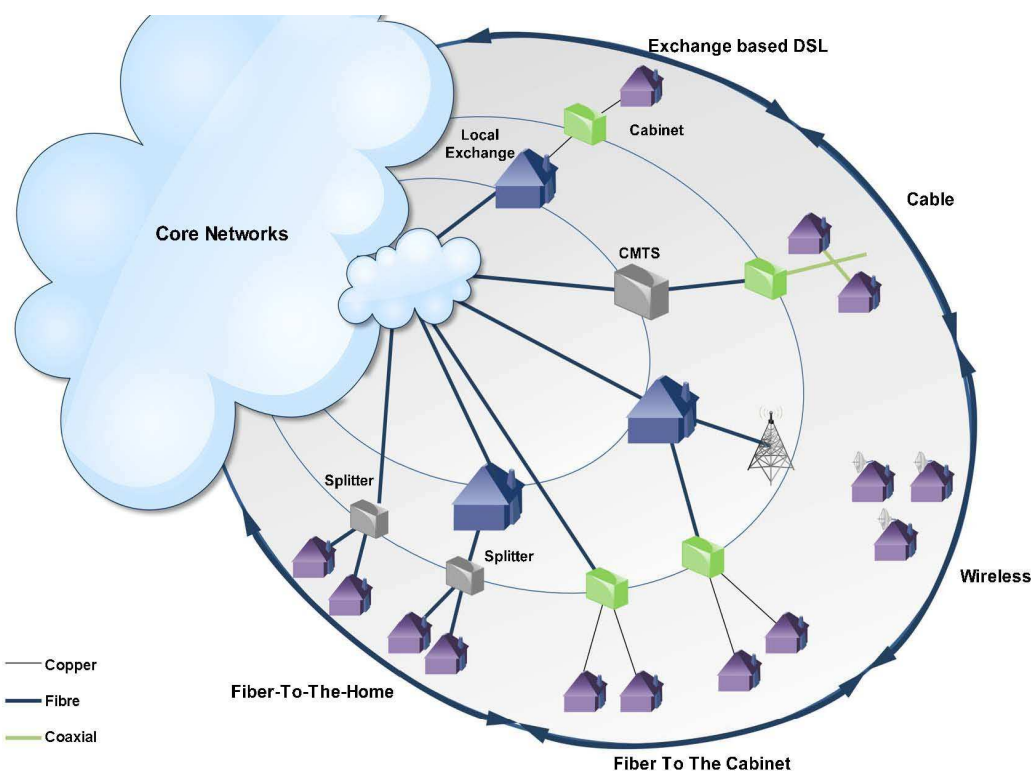


Figura 1 – Tipos de redes de telecomunicações

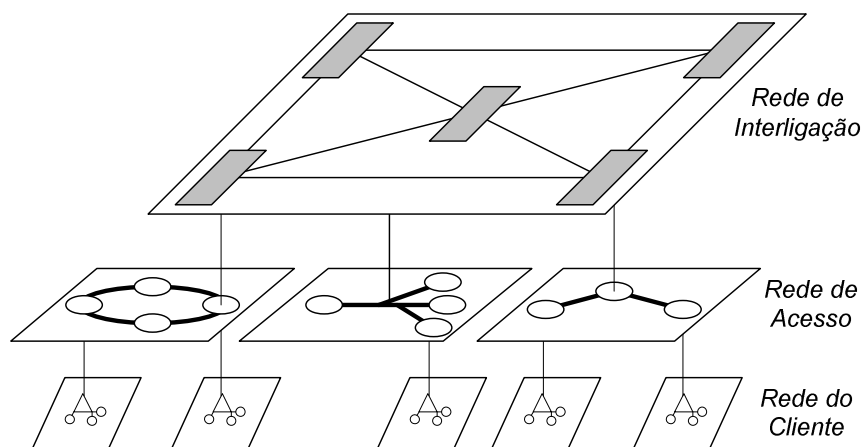


Figura 2 – Segmentos de rede [ref. 7]

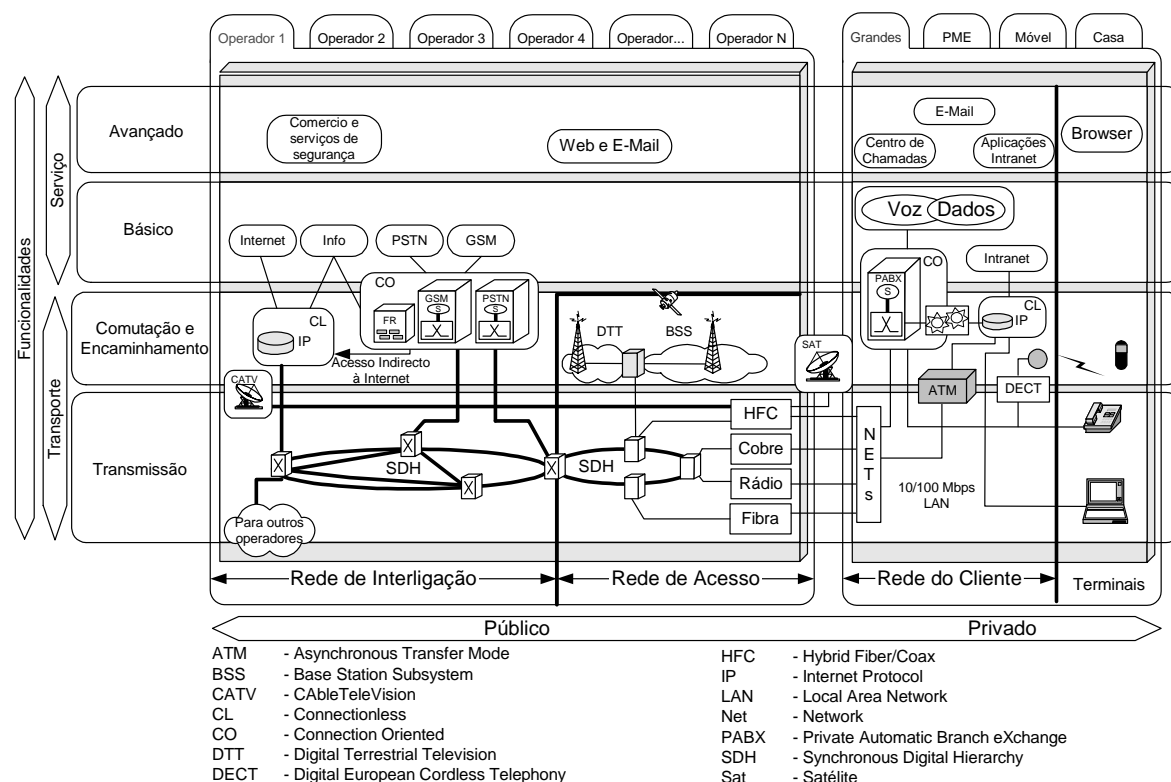


Figura 3 – Diferentes tecnologias e serviços utilizados actualmente nos diferentes segmentos de rede [ref. 7]

## 2.1. Rede de Interligação (Core Network)

A rede de interligação ou rede *core* fornece a infra-estrutura física responsável pela interligação das redes de acesso.

Uma das tecnologias utilizadas nas redes de interligação é a tecnologia SDH. Esta tecnologia é caracterizada por um conjunto de *standards* para comunicação de alto débito em meio eléctrico, óptico ou rádio. Estão também incluídos mecanismos de gestão e manutenção, fornecendo uma transmissão com muita eficiência. As redes SDH têm uma topologia em anel, utilizando dois anéis, um anel para efectuar a transmissão e outro que só é utilizado em caso de falha do primeiro, apresentando redundância.

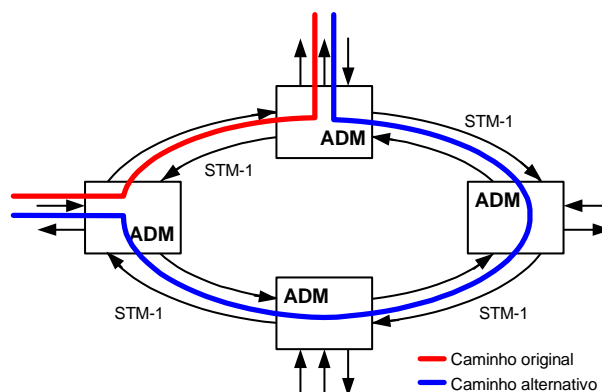


Figura 4 – Topologia em anel duplo utilizada no SDH [ref. 7]

A rede digital baseia-se numa trama síncrona de 125  $\mu$ s que deriva da frequência de amostragem usada para sinais de voz modulados em PCM (*Pulse Code Modulation*). O SDH é ideal para informação sincronizada, estruturada em bytes, com as fontes de tráfego a 64kbit/s e a Nx64kbit/s.

O modo síncrono de transporte (STM – *Synchronous Transfer Mode*) baseia-se no tamanho da trama (125  $\mu$ s). O STM é a estrutura básica de transporte que é usada para gerar outras estruturas de maior capacidade. O SDH trabalha a uma velocidade de transmissão de 155.52 Mbps (ritmo do STM-1 – *Synchronous Transfer Mode* 1). Apresenta uma estrutura hierárquica que permite que sejam multiplexados diferentes ritmos de transmissão, multiplexando quatro STM-1, ou múltiplos de quatro, formando, assim, o STM-4 (622.08 Mbps), o STM-16 (24488.32 Mbps), etc.. As estruturas de maior capacidade são geradas numa base de entrelaçamento byte a byte de N destes modos STM simples criando o STM-N. O limite é imposto por questões tecnológicas e não por falta de *standards*.

A figura seguinte ilustra um exemplo de um esquema de multiplexagem SDH.

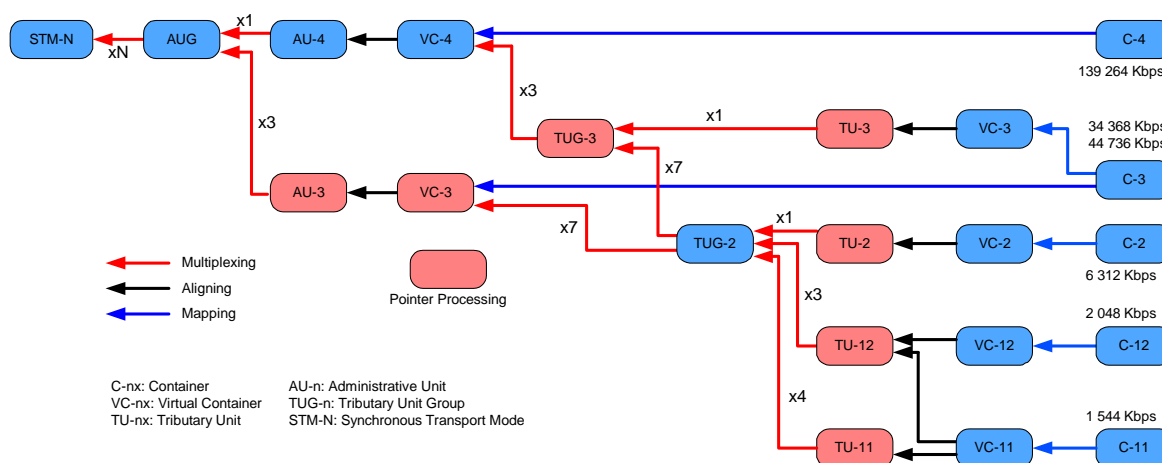


Figura 5 – Estrutura de multiplexagem da trama SDH [ref. 7]

A trama SDH incorpora vários tipos de tráfego, pois encapsula as tramas de outras tecnologias na sua trama.

A estrutura SDH é ideal para o transporte de serviços síncronos, suportando o transporte dos sinais PDH existentes e permitindo transporte de células ATM.

Outras tecnologias ainda muito utilizadas nas redes de interligação são o ATM e o FR (*Frame Relay*). Estas tecnologias funcionam sobre SDH. O ATM funciona com comutação de pacotes e ligações conectadas (circuitos virtuais – *connection oriented*) e por isso apresenta alguma qualidade de serviço. Em ATM a informação a ser transferida é segmentada em células de tamanho (53 bytes) identificadas por um cabeçalho (5 bytes) contido nessas células. A tecnologia ATM não se preocupa com o tipo de informação a transmitir e consegue transferir informação dos canais conforme as necessidades. Coloca-a em pacotes, acrescenta o cabeçalho, de modo a que este possa ser encaminhado e envia-os para o meio de transmissão. O FR trabalha com circuitos virtuais, permitindo velocidades de 56 Kbps a 1.5 Mbps e utiliza comutação de pacotes, organizando-os em tramas de tamanho variável. Um utilizador que pretenda enviar tramas entre dois ou mais pontos, aluga circuitos virtuais entre esses pontos. Uma outra tecnologia usada na rede de interligação, mas que está a cair em desuso, é o X.25. Trabalha com uma ligação conectada, com aluguer circuitos virtuais e com velocidades entre os 9.2 kbps e os 2 Mbps. O MPLS (*Multi-Protocol Label Switching*) é outra tecnologia utilizada nas redes de interligação. Esta tecnologia permite comutação de pacotes e de circuitos, suportando o transporte de todo o tipo de tráfego, sem se sujeitar às limitações provocadas por diferentes protocolos de encaminhamento e de comutação.

## 2.2. Rede de acesso

As redes de acesso fazem a ligação entre os equipamentos do cliente e os comutadores nas centrais locais. Estas redes podem ser *wireless* ou podem utilizar cabos, utilizando diferentes números de cabos, espectros de frequências e tecnologias. Actualmente, a maioria das infra-estruturas das redes de acesso são constituídas por cabos de cobre e cabos coaxiais, utilizando técnicas de transmissão analógica. Estes são alguns factores responsáveis pelas velocidades de transmissão muito limitadas.

A tecnologia de transmissão mais comum na rede de acesso é o xDSL. Esta tecnologia estabelece um circuito permanente entre o utilizador e o fornecedor de serviços, fornecendo uma maior velocidade de transmissão.

Inicialmente o tráfego na rede de acesso era maioritariamente voz, tendo, evoluído para um equilíbrio entre tráfego de voz e dados. Esta mudança no tipo de tráfego implicou a coexistência de infra-estruturas de comutação de voz e dados distintas. As tecnologias de comutação eram, inicialmente, analógicas. Há cerca de 20 anos iniciou-se um processo de digitalização que culminou na comutação totalmente digital actual. Uma tecnologia muito usada é a RDIS, que

interliga transmissão e comutação. Esta foi desenvolvida devido à introdução da digitalização na rede de acesso.

A rede de acesso das redes de difusão de televisão por cabo é, na maioria dos casos, uma rede híbrida – HFC (*Hybrid Fibre/Coax*), ou seja, usa uma mistura das tecnologias de cabo coaxial e fibra óptica.

Existem quatro tipos principais de meios físicos de transmissão nas redes de acesso:

- Par entrançado de cobre – Redes de pares de cobre entrançados, usadas como redes telefónicas (POTS *Plain Old Telephony Service*) e redes DSL (*Digital Subscriber Line*).
- Cabo coaxial de cobre – inicialmente usado para a transmissão de televisão, mas actualmente é utilizado, também, para transmissão de dados e voz.
- *Wireless* – usando tecnologias rádio.
- Fibra óptica – inicialmente era utilizada na rede *core*, para transmissões de alto débito. Actualmente considera-se a opção indicada para as novas redes de acesso (NRA).

A escolha da tecnologia adequada depende de largura de banda que se deseja ter e da distância que se pretende alcançar e do uso que se pretende fazer (por exemplo, no caso de se pretender mobilidade a tecnologia mais adequada é *wireless*). Para isso é necessário ter em conta alguns factores:

- O número de utilizadores que se pretende servir pois, quanto maior for o número de utilizadores a partilhar uma rede em simultâneo, menor será a largura de banda média disponível por utilizador.
- Quando se pretende efectuar comunicações ao longo de grandes distâncias, estas são afectadas por fenómenos de distorção, interferência e ruído.
- No caso das redes *wireless*, quanto maior for a gama de frequências do espectro electromagnético utilizada, maior é a velocidade que pode ser alcançada, e as gamas de frequências mais baixas do espectro conseguem alcançar maiores distâncias.

## 2.3. Rede do cliente

As redes do cliente são redes de pequena dimensão, que ligam o utilizador final à rede de acesso. A escolha das tecnologias utilizadas na rede de cliente depende das distâncias que se pretendem alcançar, o número de utilizadores que se pretende servir e a utilização que se pretende dar à rede pois, esta rede utiliza as mesmas tecnologias de transmissão, comutação e encaminhamento de cada um dos serviços que fornece ao cliente. No caso da rede telefónica fixa utiliza-se a comutação de circuitos através de ligações conectadas, utilizando como meio de transmissão os cabos de cobre. No caso da rede telefónica móvel a transmissão é feita através de feixes hertzianos até à estação base da célula onde se encontra o cliente. A rede de dados utiliza tecnologias de comutação e encaminhamento baseadas em comutação de pacotes e datagramas

(*connectionless*) – tecnologia IP. As redes de difusão de rádio tem como tecnologia de transmissão os feixes hertezianos e as redes de televisão utilizam duas tecnologias distintas de transmissão: feixes hertezianos e cabo. No caso da difusão de televisão através de cabo, a rede do cliente é normalmente uma rede em cabo coaxial.

## 2.4. Traços dominantes das actuais Redes de Telecomunicações

Os vários segmentos das redes de telecomunicações são constituídos por elementos complexos e utilizam diferentes tecnologias, de diferentes épocas, originando problemas de retro-compatibilidade, inter-operabilidade e dificuldades de inter-acessibilidade entre os diferentes segmentos. Uma das formas de se resolver estes problemas foi o recurso a algumas técnicas de interligação do serviço telefónico (fixo e móvel) com os serviços de dados.

Na rede de acesso existente já se verifica integração de serviços utilizando pares de cobre entrançados. Esta integração é possível através da tecnologia RDIS (Rede Digital com Integração de Serviços) e de tecnologias xDLS (Digital *Subscriber Line*). Na rede de cabo coaxial o DOCSIS permite a transmissão de voz, televisão e dados sobre a mesma infra-estrutura.

Na rede de interligação já é possível a integração completa, ou seja, podem transmitir-se voz e dados sobre a mesma infra-estrutura, através da utilização de tecnologias como SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*). Nesta rede, assiste-se a uma sobreposição de várias tecnologias: são utilizadas tecnologias de comutação de pacotes que se baseiam em ligações não conectadas (como é o caso do IP) sobre tecnologias que se baseiam em ligações conectadas (como por exemplo, o ATM e o SDH). Também nas redes móveis se verifica uma crescente utilização do IP, como é o caso do UMTS.

A transmissão de dados tem características diferentes da transmissão de voz, tais como a largura de banda necessária e a assimetria na transmissão. Os dados são transmitidos usando técnicas de comutação de pacotes e ligações não conectadas, não sendo possível garantir fiabilidade na transmissão (transmissões *best effort*). Nestas transmissões é utilizado o protocolo IP. O ATM foi desenvolvido para permitir uma utilização mas eficiente dos recursos de transmissão na rede telefónica. Esta tecnologia foi implementada nas redes de dados, sobrepondo-se à tecnologia IP, o que permite utilizar os benefícios de fiabilidade do ATM e a flexibilidade do IP. O MPLS foi desenvolvido com o objectivo de facilitar a comunicação do IP e do ATM. O MPLS é uma tecnologia com capacidades de gestão de tráfego e de multiplexagem, unificadora de uma variedade de serviços, principalmente IP e ATM. As tecnologias MPLS e ATM fornecem a qualidade de serviço necessária, complementando a tecnologia IP.

A tecnologia IP adquiriu, de tal forma, um elevado grau de disseminação, que se considera que esta tecnologia é a indicada para efectuar a convergência dos vários serviços.

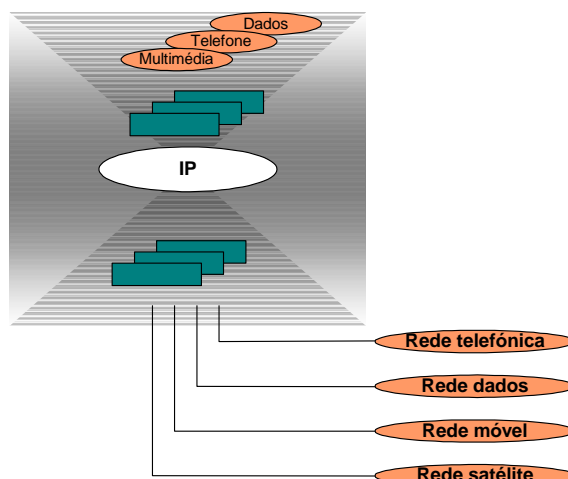


Figura 6 – IP como tecnologia convergente [ref. 7]

Actualmente as várias redes estão a ser utilizadas para prestar serviços diferentes daqueles para que foram construídas. As redes telefónicas são utilizadas para acesso à Internet, as redes CATV dão acesso à Internet e a serviços telefónicos, a Internet já possibilita serviços de vídeo e voz. Outros exemplos são o UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), que integra serviços de voz e dados móveis, e a televisão interactiva, que integra serviços de difusão e dados. Observa-se uma mistura entre os objectivos iniciais de cada solução de rede e os serviços que são fornecidos sobre ela.

A necessidade de fornecer determinados serviços sobre infra-estruturas nem sempre preparadas tecnologicamente para tal, originou diversas ineficiências. Este facto obrigou as redes a evoluir, tornando possível transportar e encaminhar vários sinais e tráfego. No sentido de dar resposta aos problemas está-se a caminhar para a convergência das redes. Esta evolução está a dar origem a um novo tipo de redes, as redes de próxima geração – *NGN*.

As *NGN* têm a capacidade de disponibilizar uma multiplicidade de serviços multimédia. São redes baseadas em comutação de pacotes que permitem fazer uso de múltiplas tecnologias de transporte de banda larga permitindo ainda diferentes níveis de qualidade de serviço (QoS), em que as funções relacionadas com os serviços são independentes das tecnologias de transporte.

## 2.5. Suportes físicos de transmissão utilizados nas redes de acesso

### 2.5.1. Par entrançado de cobre

O par entrelaçado é o meio de transmissão mais barato e, mundialmente, mais utilizado. Compõe-se de dois fios de cobre isolados entrançados entre si consistindo os dois num único canal de comunicação. Geralmente são agrupados vários destes pares num único cabo para conduzir as ligações a distâncias bastante grandes. Os pares de cobre são entrançados para anular o efeito electromagnético, o efeito de *crosstalk* e atenuar o ruído. A atenuação de um par de cobre é crescente com a frequência. Estes cabos asseguram a maior parte das ligações actuais à rede de acesso.



Figura 7 – Par entrançado de cobre [ref. 21]

Estes eram muito utilizados nos sistemas telefónicos e ainda hoje estão presente em muitas casas, nomeadamente devido à tecnologia ADSL, para levar a informação até casa. Permitem a transmissão analógica e digital de informação, requerendo amplificadores a cada 5/6 km para a transmissão analógica e 2/3 km para a transmissão digital. Comparado com os outros meios guiados como o cabo coaxial e a fibra óptica, o par entrelaçado é mais limitado em distância, na largura de banda e no ritmo de transmissão.

#### 2.5.1.1. Rede telefónica fixa

O telefone foi criado com o objectivo de permitir a comunicação por voz à distância. Inicialmente as redes não possuíam comutadores, as ligações eram feitas directamente entre os assinantes, utilizando um fio entre cada par de telefones. Cada assinante tinha ligações para todos os outros e seleccionava o seu destino, escolhendo directamente os fios que o ligavam ao seu interlocutor (comutação manual). Com o aumento do número de assinantes, esta solução tornou-se pouco prática e foi necessário introduzir elementos que permitissem o estabelecimento de ligações de forma mais prática: os comutadores automáticos, que permitem a selecção automática do destino da chamada.

A arquitectura da rede telefónica utilizando comutadores (PSTN Public Switch Telephone Network) é uma arquitectura em estrela hierárquica. Quando o tráfego entre dois comutadores o justificar, estabelecem-se ligações directas entre eles, quer pertençam ao mesmo nível hierárquico quer a níveis diferentes. Esta malha de ligações entre comutadores transformam uma rede em



estrela numa rede híbrida estrela/malha. O número de níveis hierárquicos depende de vários factores nomeadamente, o tamanho do país e a densidade de utilizadores. Este sistema trabalha com ligações conectadas e com comutação de circuitos.

A rede de acesso da rede telefónica é constituída por cabos de pares de cobre entrançados.

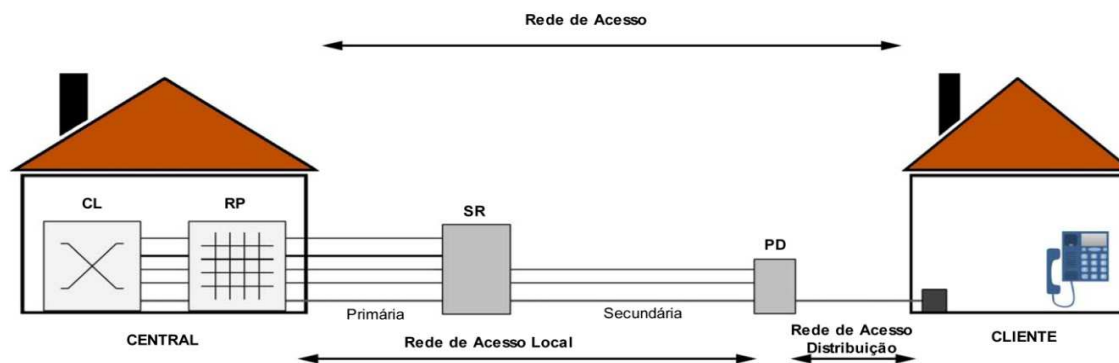


Figura 8 – Rede de acesso da rede telefónica [ref. 4]

Ao longo da rede existem pontos de flexibilidade, como é o caso do repartidor principal, onde se faz a ligação entre a rede de cabos e o equipamento de comutação. O repartidor principal (RP) também é conhecido pela sigla MDF (Main Distribution Frame). Partindo de um repartidor principal, os cabos de cobre estendem-se até um armário de um sub-repartidor (SR), de onde partem os cabos secundários até aos pontos de distribuição. O último troço é assegurado por um cabo de assinante, que sai do ponto de distribuição (PD) e estabelece ligação com as residências dos utilizadores.

#### 2.5.1.2. RDIS (Rede Digital com Integração de Serviços)

Na rede telefónica a comutação e a transmissão foi totalmente digitalizada, excepto na rede de acesso, que pode ser analógica ou digital. A rede de acesso digital é designada por rede de acesso RDIS ou ISDN (*Integrated Service Digital Network*). A RDIS criou condições para uma maior integração da rede, passando a ser possível transmitir tráfego de voz e dados na mesma rede. A RDIS foi desenvolvida devido à introdução da digitalização na rede de acesso e interliga transmissão e comutação. Foram definidos dois tipos de acesso: básico e primário (BRI - *Basic Rate ISDN* e PRI - *Primary Rate ISDN*). O acesso básico RDIS dispõe de uma interface física própria, permitindo que dois equipamentos terminais comuniquem ao mesmo tempo. Consiste em 2 canais B (de 64 kbps cada) para voz e dados e um canal D (de 16 kbps) para sinalização. O acesso primário consiste em 30 canais B e um canal D.

### 2.5.1.3. Rede xDSL

As redes xDSL surgiram na tentativa de rentabilizar a infra-estrutura de cobre “herdada” da rede PSTN, através do desenvolvimento de técnicas de modulação e compressão espectral capazes de transmitir débitos superiores aos que, normalmente, a rede PSTN oferece, a distâncias consideráveis. Esta tecnologia estabelece um circuito permanente entre o utilizador e o fornecedor de serviços, fornecendo uma maior velocidade de transmissão.

A rede PSTN foi otimizada para transmitir sinais na gama entre 300 Hz e os 3400 Hz (sinais de voz). Para se conseguir transmitir mais informação, removeram-se os filtros, que limitavam a largura de banda, para que se possa transmitir a frequências mais elevadas (as comunicações de dados necessitam de largura de banda superior às comunicações de voz), passando a ser possível transmitir dados, juntamente com os sinais de voz. Os dois sinais são divididos, nas residências dos utilizadores e nas centrais de comutação, e enviados para os equipamentos DSL e para os equipamentos PSTN.

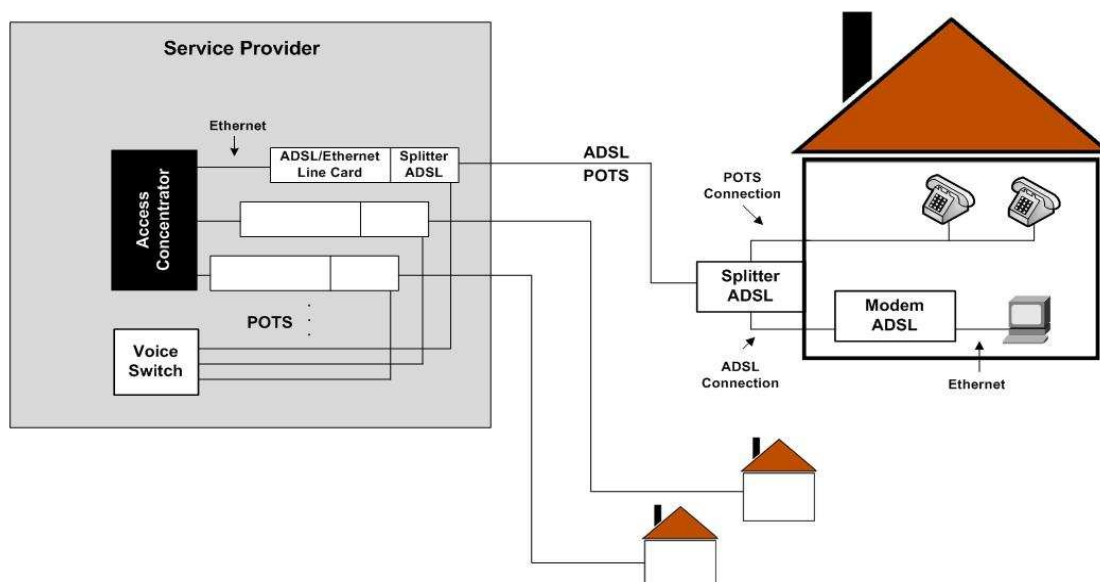


Figura 9 - ADSL

Existem várias tecnologias DSL que fornecem velocidades simétricas ou assimétricas. Nas transferências assimétricas um equipamento designado de DSLAM (*Digital Subscriber Line Access Multiplexer*) envia a informação para o utilizador. A largura de banda no sentido descendente, isto é na direcção do utilizador, é superior à largura de banda no sentido ascendente, do utilizador para o DSALM. Nas transferências simétricas as velocidades de *download* e *upload* são iguais. As transferências assimétricas são mais utilizadas porque, geralmente, há mais informação a fluir para o utilizador do que a partir do utilizador. O espectro disponível na ligação PSTN é dividido em duas partes, sendo a que é atribuída à transferência de informação no sentido descendente muito superior à que é atribuída ao sentido ascendente. As

tecnologias xDSL utilizam um espectro de frequências acima do espectro utilizado nas comunicações de voz, para garantir que estas se mantêm inalteradas.

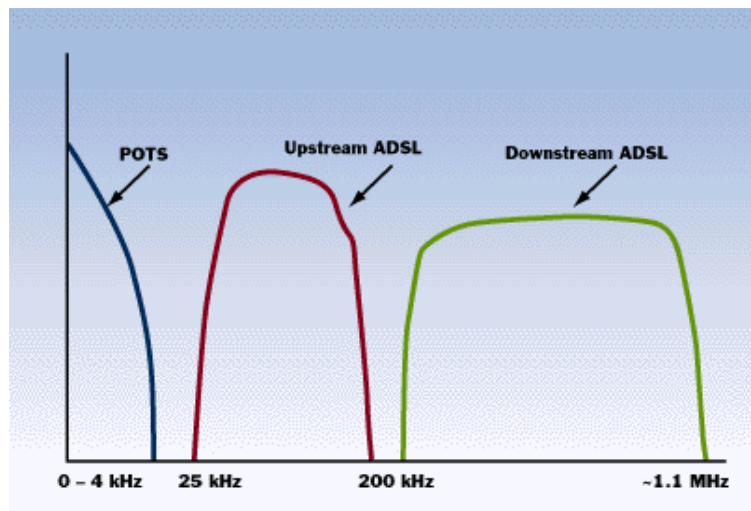


Figura 10 – Configuração espectral do ADSL [ref. 7]

Existem diferentes tecnologias DLS:

- ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*) – permite uma transmissão assimétrica com velocidades de 1.5 a 9 Mbps no sentido descendente (*downstream*) e de 16 kbps a 640 kbps no sentido ascendente (*upstream*), em distâncias até 3 km. Utiliza apenas um par de cobre numa topologia ponto-a-ponto. Permite transmissão de voz e de dados sobre a mesma infra-estrutura;
- ADSL2 – é uma variante do ADSL que se adapta melhor às necessidades dos utilizadores, permitindo um melhor desempenho, adaptação de débitos, alcance e diagnósticos;
- ADSL2+ - uma ligação pode atingir velocidades de 24 Mbps, no sentido descendente, e 3,5 Mbps, no sentido ascendente, até cerca de 1,5 km.
- VDSL (*Very-high-speed Digital Subscriber Line*) – permite velocidades de 13 a 52 Mbps no sentido descendente (*downstream*) e de 1.6 a 2.3 Mbps no sentido ascendente (*upstream*). Permite velocidades superiores ao ADSL, mas tem limitações no que toca ao alcance;
- VDSL2 - uma ligação pode atingir velocidades até 100 Mbps em ambos os sentidos.
- HDSL (*High-data-rate Digital Subscriber Line*) – foi desenvolvido para transmissões simétricas, permitindo velocidades de transmissão de 1.544 Mbps ou de 2.048 Mbps em cada sentido, usando para isso dois ou quatro pares de cabos de cobre. Não permite a transmissão de voz sobre o mesmo troço, podendo-se utilizar toda a capacidade de transmissão do cobre para comunicações de dados;
- SDSL (*Symmetrical Digital Subscriber Line*) – é semelhante ao HDSL mas só necessita de um par de cabos de cobre.

As velocidades nas ligações DSL dependem da distância entre o utilizador final e o DSLAM, pelo que o compromisso distância/taxa de transmissão é um dos factores mais importantes a ter em conta.

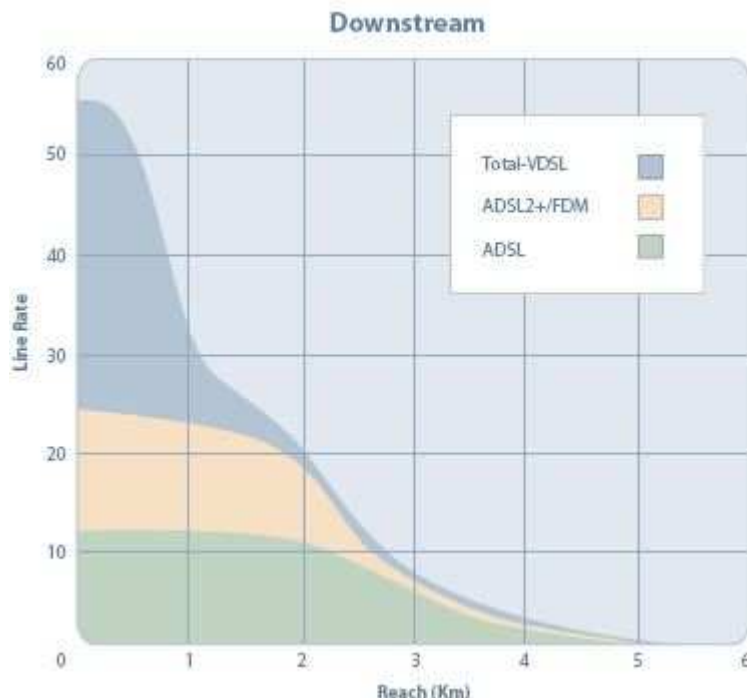


Figura 11 – Variação da taxa de transmissão (Mbps) com a distância (km) ao DSLAM [ref. 11]

A rede PSTN é uma rede ponto-a-ponto e como tal a velocidade é dedicada a cada utilizador, não precisando de ser partilhada.

Para satisfazer as necessidades de banda larga dos utilizadores, os operadores das redes de acesso estão a modificar a sua rede, construindo novas infra-estruturas, de forma a trazer a rede de fibra até aos armários de rua, onde se encontram os DSLAMs. Este tipo de rede designa-se de *Fiber-to-the-node*.

As redes baseadas em DSL são vantajosas pois, como utilizam parte da infra-estrutura de cobre já existente, permitem uma redução nos custos de implementação, conseguindo fornecer largura de banda que já permite um usar serviços e aplicações, tais como o VoIP e IPTV.

Existem, no entanto, algumas desvantagens relacionadas com as redes DSL. O desempenho é afectado pela distância, tornando difícil obter um alcance superior a 5 km, limitando a largura de banda a cerca de 50 Mbps para distâncias de 450 metros. As redes DSL não são as mais adequadas às aplicações que mantêm um fluxo contínuo de informação, como é o caso do IPTV. Este tipo de aplicações pode consumir toda a largura de banda do sentido descendente da ligação, limitando a capacidade do sentido descendente para outros serviços.

### 2.5.2. Cabo coaxial de cobre

Os cabos coaxiais são muito utilizados nas redes de distribuição de televisão. O cabo coaxial, à semelhança do par entrelaçado, consiste em dois condutores, um interior e um exterior, mas é construído de modo a permitir uma maior gama de frequências. O condutor exterior envolve o condutor interior, existindo, entre eles, um meio isolador (*insulation*) como se apresenta na seguinte figura:

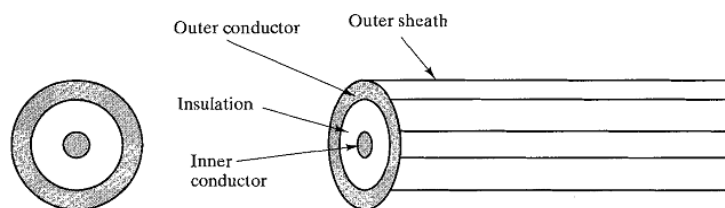


Figura 12 – Cabo coaxial [ref. 21]

O condutor externo serve de blindagem electromagnética e é revestido de uma camada de protecção. Um cabo coaxial tem um diâmetro desde 1 a 2.5 cm. Possibilita a transmissão por grandes distâncias além de permitir mais utilizadores numa linha partilhada do que o par entrelaçado. Estes cabos proporcionam o transporte de sinais com frequências muito mais elevadas do que os pares de cobre.

Os cabos coaxiais são utilizados para difundir várias aplicações, nomeadamente televisão, transmissão de telefone em grandes distâncias, sendo a tecnologia CATV a mais conhecida, inicialmente implementada para levar o sinal a regiões remotas, mas devido às suas características foi muito bem recebida mesmo em áreas urbanas. Possibilita o transporte de dezenas de canais TV em distâncias até algumas dezenas de kms.

O cabo coaxial representaram um papel fundamental nas redes de transporte de telefone, mas tem vindo a perder terreno para a fibra óptica, ligações de satélite e transmissão em microondas.

#### 2.5.2.1. Redes CATV

As redes de CATV (*Community Antenna Television*) foram instaladas com o objectivo de distribuir sinais de vídeo, mas têm evoluído para fornecer uma variedade de serviços de telecomunicações. Inicialmente as redes de cabo eram do tipo de *broadcast* (difusão), isto é, as comunicações realizavam-se apenas num sentido, o sentido descendente, e todos os utilizadores recebiam o mesmo sinal. A introdução dos serviços de dados obrigou as redes a possibilitarem comunicações nos dois sentidos e comunicações separadas por utilizador. Isto foi conseguido através da optimização dos cabos para transmitir uma vasta gama de frequências. No sentido descendente são utilizadas frequências entre 85 e 860 MHz e no ascendente a faixa entre 5 e 65 MHz., obtendo-se um sistema assimétrico. Nestas redes a largura de banda é partilhada por vários

utilizadores e, como tal, é necessário utilizar endereçamento de forma a garantir que cada utilizador só recebe o que lhe é destinado.

Nos primeiros sistemas, só existiam frequências descendentes, pois o objectivo da rede era fazer a difusão de sinais de televisão. Com a introdução da interactividade, passaram a ser utilizadas as frequências mais baixas para o sentido ascendente. Os canais de televisão analógica estão espaçados entre 6 e 8 MHz. Estes canais podem ser utilizados para:

- Um canal de televisão analógico;
- Internet para os *cable modems*;
- Canais de televisão digital. Na largura de banda de um canal analógico podem ser transportados até 4 canais digitais.

A estrutura de uma rede de distribuição por cabo é em árvore, utilizando de cabos coaxiais (nas zonas de distribuição) e fibra óptica (nos troços mais compridos da rede).

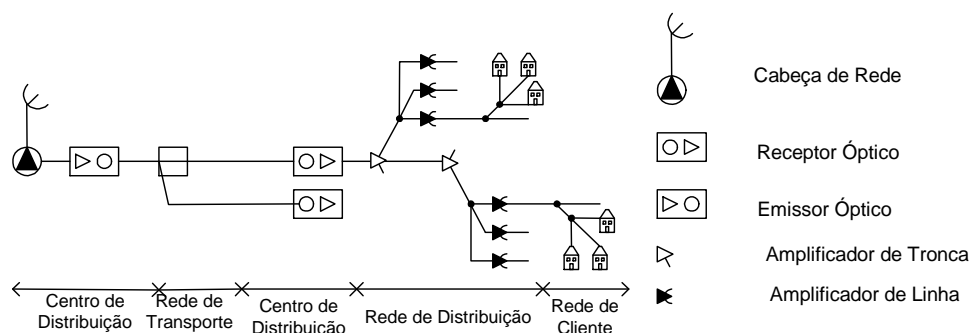


Figura 13 – Estrutura de uma rede de distribuição por cabo [ref. 7]

O sinal é composto na cabeça de rede (*head end*), local onde são recebidos e processados os diversos canais a difundir na rede. Os canais podem ter diversas origens como recepção por satélite ou recepção terrestre. O sinal composto na cabeça de rede é injectado em cabos de fibra óptica (que constituem a rede de transporte) até aos centros de distribuição, onde o sinal eléctrico é passado para o cabo coaxial. Geralmente, a cada cabo coaxial que sai de um nó de distribuição serve entre 500 a 2000 utilizadores.

A rede de distribuição é uma rede em cabo coaxial que interliga os diversos receptores ópticos, situados nos centros de distribuição, com as saídas dos amplificadores de tronca ou de linha. Os amplificadores são dispostos de forma a compensar as atenuações sofridas pelo sinal ao longo do trajecto. Como são utilizadas frequências elevadas, a atenuação vai ser também elevada, obrigando à instalação de amplificadores com um intervalo na ordem das centenas de metros. A rede de distribuição tem uma topologia em árvore, e estabelece a ligação entre os amplificadores de tronca ou de linha e a rede do cliente. A rede do cliente corresponde à interligação entre a saída dos amplificadores de tronca ou de linha até à tomada em casa do cliente.

A infra-estrutura das redes de CATV pode assegurar o transporte de dados. Existem várias normas que definem o modo como o transporte de dados se realiza, entre as quais se destaca a norma DOCSIS (*Data Over Cable Service Interface Specification*).

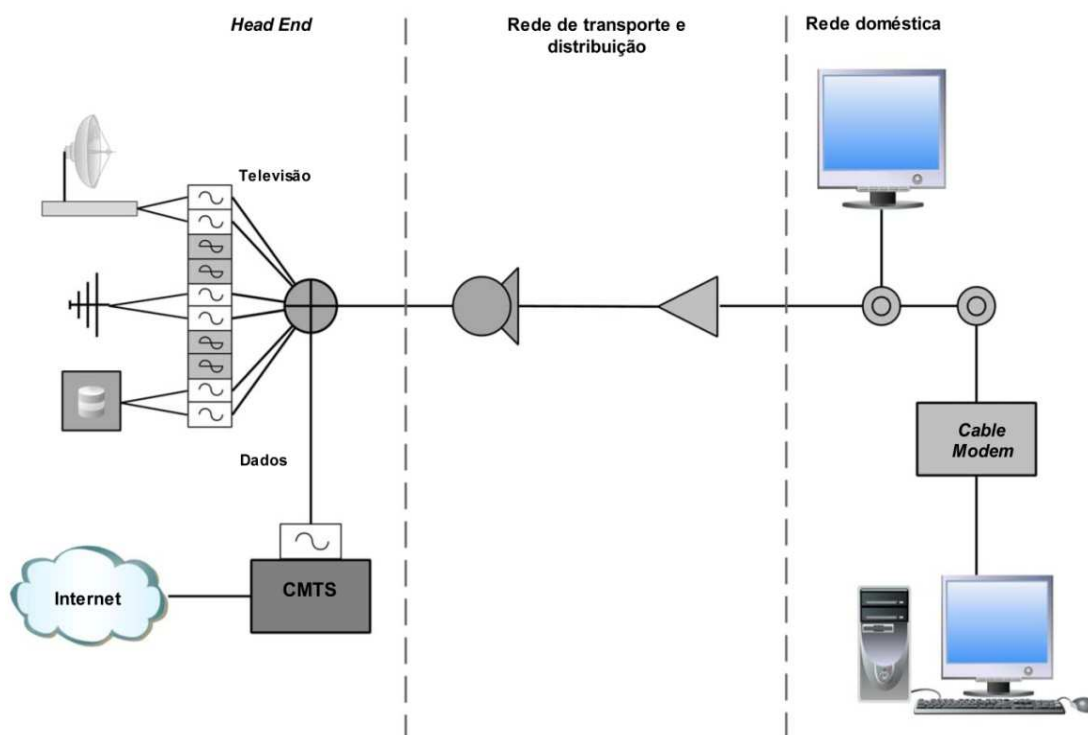


Figura 14 – Ligação DOCSIS

O DOCSIS é um sistema de comunicação ponto-a-multiponto, entre o CMTS (*Cable Modem Termination System*), e os CM (*Cable Modem*) nas instalações do cliente. O sinal do cabo coaxial é injectado na fibra, de forma a conseguir atingir as distâncias necessárias desde o centro de distribuição primário ou *head-end*, onde se encontra o CMTS, até ao centro de distribuição, onde o sinal óptico é convertido em sinal eléctrico. O CM faz a interligação entre os equipamentos de cliente e a rede, realizando as operações de modulação e desmodulação, e mecanismos de autenticação e segurança. O CMTS é o equipamento que multiplexa a informação em diferentes canais e acrescenta a encriptação. A rede óptica pode atingir até algumas centenas de quilómetros com a utilização de amplificadores ópticos. Geralmente, o ponto de distribuição local fica a 10-20 km do ponto de distribuição central, sendo a distância máxima entre eles 160 km. O número de utilizadores que uma célula pode servir é imposto pelo ruído, atenuação e distorções introduzidos nos cabos e amplificadores.

Tal como nas redes DSL, as redes de cabo coaxial têm a vantagem de utilizar infra-estruturas existentes, reduzindo os custos de implementação. A natureza partilhada da rede limita a largura de banda disponível para cada utilizador. Quanto mais utilizadores estiverem ligados à rede em simultâneo menor será a largura de banda disponível por utilizador. A capacidade de suportar múltiplos fluxos, de características diferentes, é limitada pelo número de utilizadores e a utilização que eles fazem da largura de banda.

### 2.5.3. Wireless

As redes *wireless* utilizam o espectro electromagnético como meio de transmissão. O espectro electromagnético é um meio ruidoso e com características de transmissão variáveis, pelo que é necessário que as tecnologias de transmissão sejam robustas no que toca a correcção e detecção de erros e adaptação às condições de transmissão. A utilização de comunicações sem fios não é utilizada em todos os troços da rede de telecomunicações. As antenas utilizadas nas comunicações móveis estão, em muitos casos, interligadas por meios físicos como a fibra óptica ou pares de cobre.

#### 2.5.3.1. Rádio na rede de acesso

Cada vez mais existe a necessidade de proporcionar serviços em qualquer lado e em qualquer circunstância. As redes móveis permitem que um utilizador possa efectuar uma operação em movimento. A importância da mobilidade levou ao grande desenvolvimento das redes telefónicas móveis e posteriormente às redes de dados móveis.

##### 2.5.3.1.1. GSM

A rede telefónica móvel mais usada na Europa é a rede GSM (*Global Systems for Mobile communications*). As redes GSM estão preparadas para serviços de voz, serviços de dados, serviços de mensagens e serviços suplementares como reencaminhamento de chamadas, barramento, aviso e suspensão de chamadas e serviço de mensagens curtas – SMS (*Small Messages Service*), permitindo taxas de transmissão de 14.4 kbps. Os serviços de voz e de mensagens asseguraram o sucesso das redes GSM, enquanto o serviço de dados é pouco utilizado. O sistema GSM fez a passagem da tecnologia analógica para a tecnologia digital, trazendo melhorias na segurança, robustez e fiabilidade.

##### 2.5.3.1.2. GPRS

O GPRS (*General Packet Radio Services*) é uma evolução do sistema GSM, que introduziu a transmissão de pacotes nas redes móveis. GPRS suporta serviços de dados com comutação de pacotes, sobre a infra-estrutura base do GSM. A rede GPRS não existe autonomamente, mas como um complemento da rede GSM (mantendo muitos dos seus equipamentos). Com as funcionalidades GPRS passaram a existir duas redes em paralelo: uma continua a assegurar os serviços baseados em circuitos (serviços de voz), a outra faz o encaminhamento das ligações de pacotes. Esta rede proporciona um serviço de dados para as estações móveis GSM e permite que os fluxos de informação dos serviços de dados mantenham a sua estrutura em pacotes quando transitam na rede móvel, fornecendo velocidades de transmissão variáveis até 171 kbps.



### 2.5.3.1.3. UMTS

O serviço GPRS foi o primeiro passo para a introdução do UMTS, que permite fornecer serviços multimédia de alta velocidade. O UMTS suporta serviços de dados desde 144 kbps (para acesso móvel) até 2 Mbps (para um acesso *wireless* fixo). O UMTS permite a interligação com outras redes, tais como a rede telefónica fixa ou a rede de dados, de modo a que seja possível a um utilizador movimentar-se para diferentes ambientes.

### 2.5.3.1.4. HSDPA

O HSDPA (*High Speed Download Packet Access*) é um sistema de transmissão de pacotes, que permite que redes baseadas no sistema UMTS obtenham taxas de transmissão mais elevadas.

Estas redes permitem velocidades no sentido descendente (*downlink*) na ordem do mega bit por segundo, sendo o limite máximo 14.4 Mbps. No entanto, ainda não é possível atingir estas velocidades. No HSDPA, a antena precisa de estar a uma distância de 250 metros do utilizador para que a velocidade média disponível para 20 utilizadores seja 1 Mbps.

### 2.5.3.1.5. Wi-Fi

A tecnologia Wi-Fi foi desenvolvida nomeadamente para pequeno alcance com o objectivo de proporcionar comunicações sem fios, dando aos utilizadores liberdade e comodidade. Esta tecnologia é geralmente utilizado para distâncias máximas de 30 m em interiores e 90 m em exteriores, com as taxas de transmissão atingir o valor máximo de 54 Mbps, para pequenas distâncias. Estas velocidades são partilhadas pelos utilizadores da rede, e como tal, quanto mais utilizadores estiverem a usar a rede em simultâneo menor será a largura de banda disponível. A distância entre dois pontos de acesso depende de vários factores como a qualidade da antena, a potência utilizada e a influência de objectos na área (edifícios, relevo acentuado). Esta tecnologia é vista como um complemento para qualquer rede de acesso, não sendo vista assim como alternativa, uma vez que apenas permite uma pequena mobilidade com grandes ritmos de transmissão.

### 2.5.3.1.6. WiMAX

O WiMAX é uma tecnologia de telecomunicações que pretende ser uma alternativa ao DSL e ao cabo, como forma de acesso à Internet sem fios na última milha (*last mile*). O WiMAX permite velocidades até 40 Mbps ao longo de distâncias até 10 km. A largura de banda disponível também é partilhada por todos os utilizadores que estiverem ligados à rede em simultâneo.

As redes *wireless* têm boas características no que diz respeito aos custos, mobilidade e flexibilidade. No entanto, não são capazes de enviar grandes quantidades de informação ao longo

de grandes distâncias e fornecer serviço a vários utilizadores em simultâneo. As limitações de capacidade relacionadas com a natureza partilhada das redes fazem com que as redes *wireless* não consigam competir com as redes de cabo. No entanto, estas redes sem fios poderão ser construídas de forma a alargar a cobertura das redes a áreas rurais e remotas, complementando a rede de acesso em cabo, permitindo ao utilizador uma maior mobilidade nas comunicações. O *wireless* pode ser a solução ideal para zonas onde a população está muito dispersa e zonas remotas.

#### **2.5.3.1.7. Difusão em espaço livre**

Nas redes de difusão a informação é enviada para vários utilizadores ao mesmo tempo. Existem dois tipos de difusão:

- Não endereçada: difusão dirigida a todos os utilizadores;
- Difusão endereçada: difusão dirigida a um grupo restrito de utilizadores.

Os serviços de rádio e televisão utilizam difusão não endereçada.

O meio de transmissão utilizado nos serviços de rádio é o espaço livre. São utilizadas portadoras moduladas em frequência (FM - *Frequency Modulated*) entre os 88 e os 108 MHz. Em cada uma destas portadoras é transmitido um canal de rádio. Estes sistemas têm evoluído de forma a prestar serviços com melhor qualidade e sem interferências, levando ao aparecimento da difusão digital de áudio (DAB - *Digital Audio Broadcasting*). A difusão digital de áudio suporta 6 a 17 estações de rádio, permitindo velocidades de transmissão da ordem dos 1.5 Mbps.

O sistema de difusão de televisão em espaço livre utiliza sinais de rádio frequências nas bandas VHF (*Very High Frequency*) e UHF (*Ultra High Frequency*). Os sinais provenientes do emissor são enviados até ao utilizador através de transmissores locais, que recebem o sinal, amplificam-no, retiram-lhe o ruído introduzido na transmissão e reenviam-no para outros transmissores. Um problema da difusão de televisão em espaço livre era a cobertura. Este problema tem sido resolvido através da utilização de um sistema complementar de transmissão de sinais de televisão via satélite. Outra evolução foi a digitalização da transmissão de televisão (DTT – *Digital Terrestrial Television*). A televisão digital em espaço livre é transmitida utilizando sinais de rádio frequência, de forma similar à televisão analógica, no entanto permite a recepção de múltiplos canais numa única gama de frequências (gama de frequências de um canal UHF ou VHF).

## 2.5.4. Redes de fibra óptica

A partir do início da década de 80 as redes de telecomunicações passaram a incorporar, também, cabos de fibra óptica. Este novo meio de transmissão tinha sido proposto e desenvolvido alguns anos antes como resposta aos crescentes volumes de tráfego.

As principais utilizações da fibra óptica ocorreram em ligações de longa distância (rede *core* e ligações transatlânticas). Actualmente a fibra óptica é objecto de grande atenção tendo passado a ser também utilizada na rede de acesso.

### 2.5.4.1. Fibra óptica

A maioria das redes de telecomunicações existentes utiliza, como meio físico de transmissão cabos de cobre (par entrançado de cobre). No entanto, com os desenvolvimentos feitos no estudo da fibra óptica, descobriu-se que esta apresenta várias vantagens relativamente ao cobre e começou-se a considerar possíveis aplicações da fibra nas redes de acesso e na transmissão de dados.

#### 2.5.4.1.1. Constituição da fibra óptica

A fibra óptica, ao contrário do par entrelaçado e do cabo coaxial, não requer dois condutores para transmissão de informação. Um cabo óptico é constituído por um determinado número de fibras de vidro muito finas. É um guia de onda cilíndrico, formado por um núcleo de fibra (com um diâmetro desde 8 a 100  $\mu\text{m}$ ) por onde as ondas electromagnéticas são guiadas, com índice de refacção superior ao da bainha. A diferença entre o índice de refacção do núcleo e da bainha permite o confinamento das ondas electromagnéticas que se propagam no núcleo. A fibra tem um revestimento primário que a protege da humidade e químicos, e um revestimento exterior que pode ser fixo ou solto.

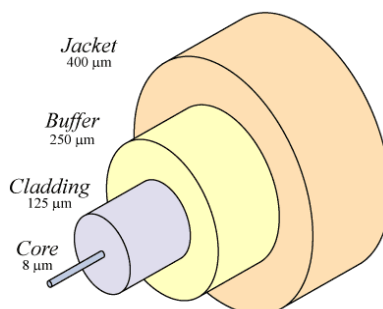


Figura 15 – Constituição do cabo de fibra óptica [ref.12]

Dependendo da aplicação final (aplicação em condutas ou em postes), a fibra pode ser envolvida por mais camadas protectoras. No interior do cabo há um enchimento que fixa as fibras e as protege da humidade e compressão. Actualmente, fabricam-se cabos até 912 fibras, dependendo da utilização final.

### 2.5.4.1.2. Vantagens da fibra óptica

Existem várias vantagens em construir uma rede em fibra óptica:

- A largura de banda numa rede de fibra óptica é quase ilimitada.
- A fibra é um meio com pouca atenuação e dispersão, devido à elevada largura de banda que proporciona.
- Como a atenuação é muito baixa, permite grandes distâncias entre repetidores.
- Pequenas dimensões dos cabos de fibra.
- Pouco peso.
- As fibras ocupam pouco espaço físico, comparativamente a cabos metálicos.
- Na fibra não ocorrem fenómenos de *cross talk*.
- A fibra não sofre influência de campos magnéticos nem corrosão, ao contrário dos cabos coaxiais e dos pares de cobre entrançados, e não é afectada pelas condições meteorológicas, ou pelo relevo do terreno e edifícios, como acontece com as comunicações *wireless*.

### 2.5.4.1.3. Propriedades de transmissão da fibra óptica

Apesar de todas as qualidades e vantagens, a fibra não é um meio de transmissão perfeito. Alguns defeitos de fabrico, como impurezas (metais e iões OH<sup>-</sup>) e pequenas variações do índice de refacção, podem provocar a absorção de alguma luz. A atenuação é uma característica que depende do grau de pureza do vidro que constitui a fibra. A atenuação também está relacionada com comprimento de onda da luz utilizada.

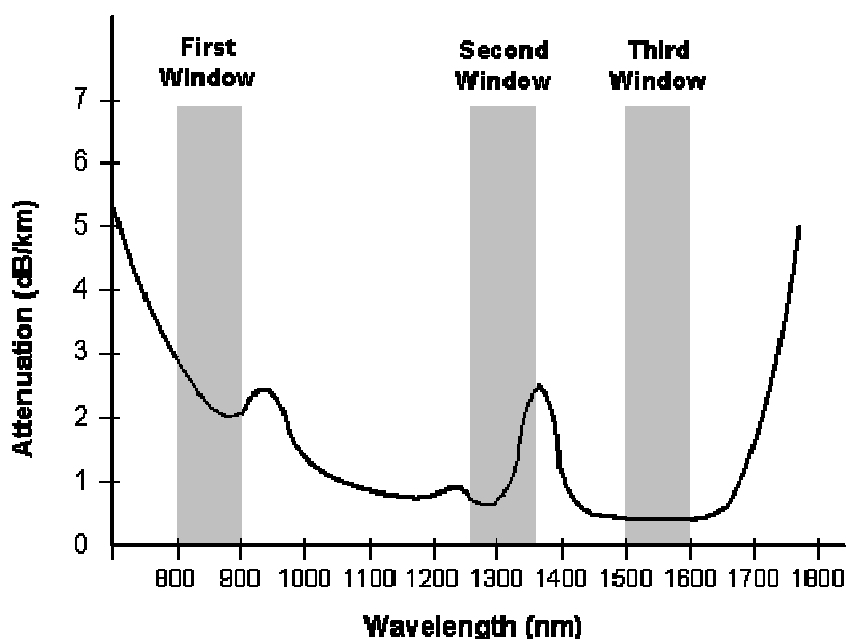


Figura 16 – Relação entre o comprimento de onda e a atenuação na fibra óptica [ref.10]

Como se pode verificar na figura anterior, existem três zonas de valores mínimos de atenuação. Os comprimentos de onda correspondentes a estes mínimos são os utilizados pelos sistemas de transmissão (1310 nm e 1550 nm).

### **2.5.5. Redes híbridas**

Actualmente existe uma grande variedade de redes de cabo que fornecem velocidades simétricas acima dos 10 Mbps. Estas redes baseiam-se em infra-estruturas já existentes das redes PSTN e cabo coaxial. Para se conseguir atingir larguras de banda superiores, parte destas infra-estruturas estão a ser substituídas por fibra óptica. Estas redes são chamadas de híbridas, como é o caso das redes HFC (Hybrid Fibre-Coax) e as redes FTTN e FTTC, que vão ser abordadas no capítulo seguinte.



### 3. Soluções de rede num contexto FTTx

No capítulo anterior foi apresentada uma visão do estado actual das redes de telecomunicação. Este capítulo será orientado para as soluções de rede que recorrem à utilização de fibra óptica. Nele pretende-se apresentar as arquitecturas e topologias das redes de fibra óptica e apresentar as tecnologias nestas redes.

#### 3.1. Arquitecturas FTTx

*Fibre to the x* (FTTx) é a expressão genérica para designar qualquer arquitectura de rede que utiliza fibra óptica para telecomunicações, substituindo completamente ou apenas parte do cobre existente na rede de acesso actual. Dependendo do ponto de terminação da fibra, estas arquitecturas têm designações diferentes: FTTN (*Fiber To The Node*), FTTCab (*Fiber To The Cabinet*), FTTC (*Fiber To The Curb*), FTTP (*Fiber To The Premises*), FTTB (*Fiber To The Building*) e FTTH (*Fiber To The Home*).

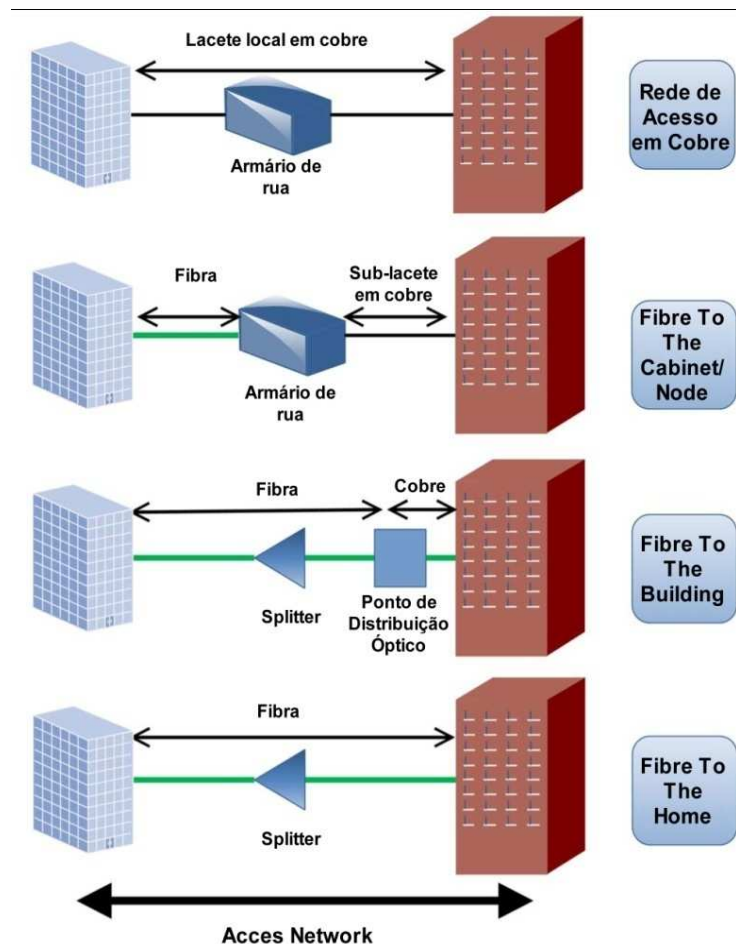


Figura 17 – FTTx

### 3.1.1. Fiber To The Node/ Fiber To The Cabinet

*Fiber to the node* (FTTN) ou *fiber to the cabinet* (FTTCab) é uma arquitectura que tem por base cabos de fibra óptica que vão até ao armário de rua, servindo pequenas áreas (com menos de 1500 m de raio) e com pouca densidade populacional (algumas centenas de utilizadores), por exemplo um bairro. Este cenário adequa-se a zonas de baixa densidade populacional e a utilizadores que pretendam serviços de VoIP e internet de alta velocidade. Os clientes ligam-se a este armário de rua através dos pares de cobre tradicionais ou de cabo coaxial.

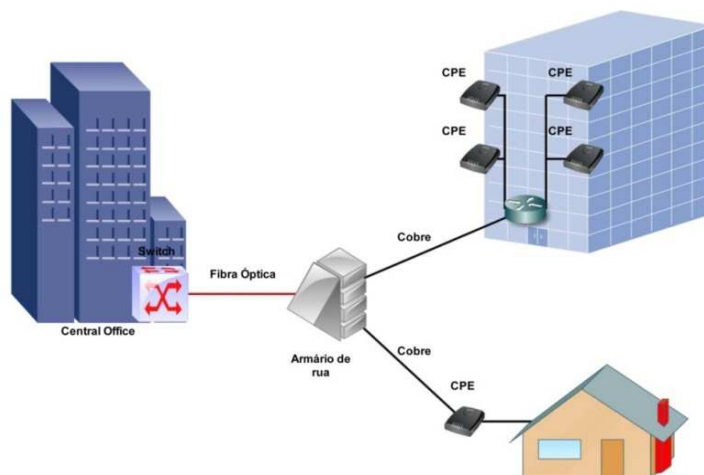


Figura 18 - FTTN

A fibra chega até ao ONU localizado no nó de acesso (armário de rua) de um bairro. O ONU pode fornecer interfaces POTS, ADSL2+, VDSL2 e SHDSL. Esta arquitectura permite entregar serviços de banda larga utilizando diferentes protocolos de telecomunicações. No caso de as residências se encontrarem ligadas ao armário de rua por cabo coaxial o protocolo utilizado é o DOCSIS. No caso de esta ligação ser feita com par entrançado de cobre, utilizam-se tecnologias xDSL. As taxas de transmissão variam, dependendo do protocolo utilizado e da distância a que o cliente se encontra do armário de rua.

### 3.1.2. Fiber To The Curb

*Fiber to the curb* (FTTC) é uma arquitectura que tem por base cabos de fibra óptica que vão desde o OLT no Central Office até a um armário de rua, servindo uma área pequena (com cerca de 300 m de raio) com pouca densidade populacional. Os clientes encontram-se ligados a esse armário através de cabos coaxiais ou de pares entrançados de cobre.

A fibra chega até ao ONU localizado no passeio (*curb*). Um ou mais edifícios podem ser servidos pela PON, bastando estar ligados ao ONU. O ONU fornece interfaces POTS e VDSL2 para acesso de banda larga à internet.



Esta arquitectura permite entregar serviços de banda larga utilizando diferentes protocolos de telecomunicações. No caso de as residências se encontrarem ligadas ao armário de rua por cabo coaxial o protocolo utilizado é o DOCSIS. No caso de esta ligação ser feita com par entrançado de cobre, utilizam-se tecnologias xDSL. As taxas de transmissão variam, dependendo do protocolo utilizado e da distância a que o cliente se encontra do armário de rua.

Esta arquitectura é ligeiramente diferente da FTTCab. A diferença principal é o alcance da fibra. No FTTC a fibra chega até ao armário de rua próximo da curva (*curb*) da rua do cliente. No FTTCab a fibra chega até a um armário de rua muito mais afastado da residência do cliente. FTTC pode usar as infra-estruturas e os cabos coaxiais ou pares de cobre entrançados existentes para fornecer os serviços, baixando os custos de implementação da rede, mas reduzindo a largura de banda.

### **3.1.3. Fiber To The Building**

*Fiber to the building* (FTTB) é uma arquitectura de redes de telecomunicações ópticas, onde a fibra óptica chega à entrada de um edifício comercial ou residencial. Neste caso a fibra não chega directamente à residência do utilizador final ou ao espaço comercial. A ligação até ao utilizador final é feita com outro meio diferente da fibra óptica. Pode ser utilizado cobre ou cabo coaxial. Quando o sinal óptico chega à residência dos utilizadores é convertido num sinal eléctrico.

Neste cenário a fibra chega até ao ONU localizado num edifício. Os utilizadores podem ter acesso à internet com ligação ao ONU através uma LAN utilizando cabos UTP-5. O comprimento habitual do cabo de cobre não ultrapassa os 100m. Utilizando recursos legados, FTTB+LAN poupa nos custos de construção. A pequena distância entre o ONU e o terminal do utilizador permite uma evolução para FTTH. Esta arquitectura é utilizada em edifícios com elevada densidade em utilizadores comerciais que têm grandes requisitos de largura de banda, esta solução não se adequa a casas individuais.

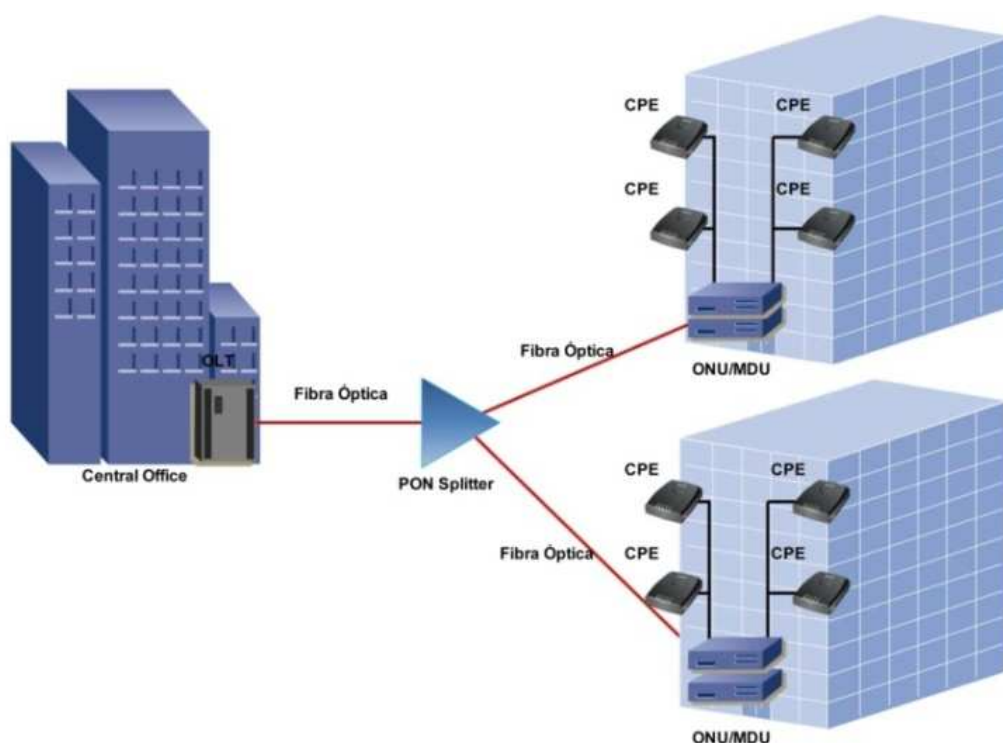


Figura 19 – FTTB (GPON)

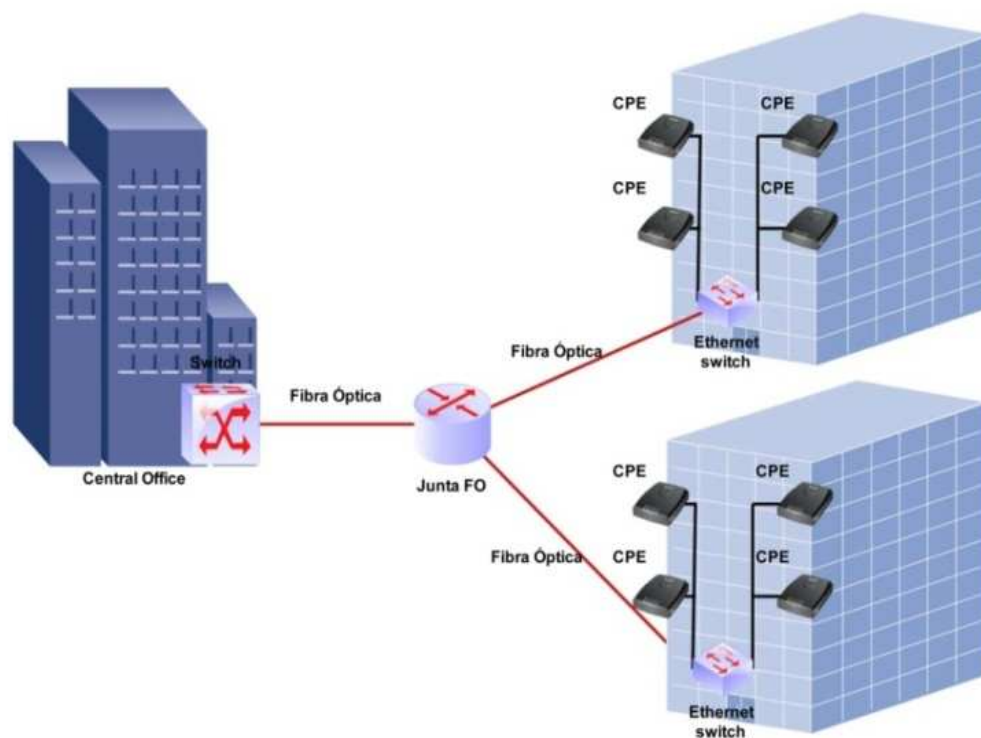


Figura 20 – FTTB (Ethernet)

### 3.1.4. Fiber To The Home

*Fiber to the home* (FTTH) é uma arquitectura de redes de telecomunicações ópticas, onde a fibra óptica chega directamente ao utilizador final, quer seja uma casa residencial ou um espaço comercial, e o assinante é servido por uma fibra óptica exclusiva. Esta arquitectura contrasta com a FTTCab e FTTC pois não aproveita a rede de cabo existente, quer seja em cobre ou em cabo coaxial, mas, no entanto, pode reaproveitar a rede condutas. Quando o sinal óptico chega à residência dos utilizadores é convertido num sinal eléctrico.

No cenário FTTH, a fibra chega até casa do cliente com um ONT situado na residência do cliente. O ONT é o equipamento que entrega o serviço e que permite aos operadores fornecer serviços de dados, voz e vídeo utilizando apenas um fio de fibra. Os ONTs fornecem interface para POTS, GE, FE. FTTH oferece enorme largura de banda mas requer elevados custos de construção.

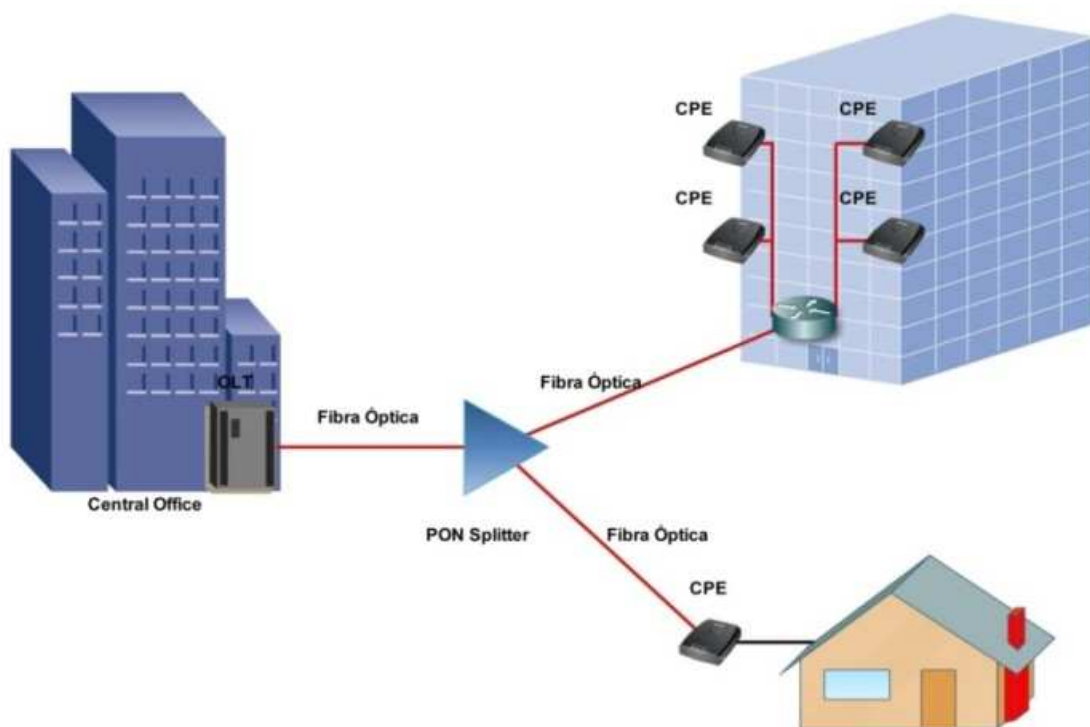


Figura 21 – FTTH (GPON)

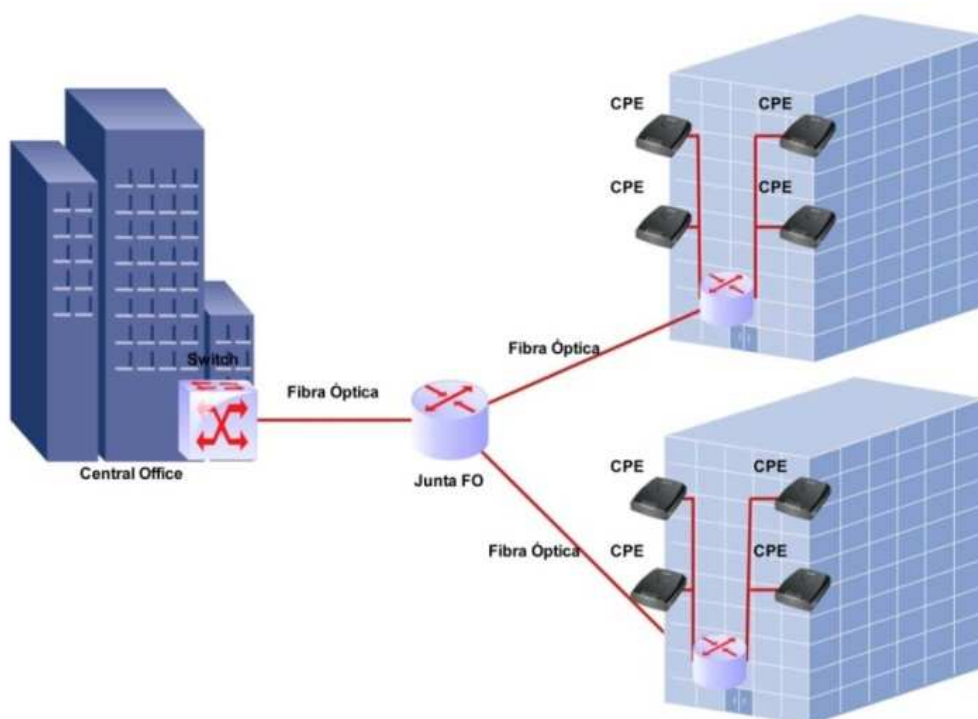


Figura 22 – FTTH (Ethernet)

No caso das arquitecturas FTTB e FTTH, os sistemas de telefone, as LANs e os sistemas de televisão por cabo estão, geralmente, todos ligados ao mesmo dispositivo, o ONT (*Optical Network Terminal*). Dentro da residência do utilizador, alguns equipamentos como routers e modems separam os sinais e convertem-nos de acordo com o protocolo apropriado.

No caso dos edifícios que utilizam tecnologia VDSL para transportar a sinais de dados, vídeo e voz, através dos cabos de telefone existentes, até ao utilizador final, é necessário um modem VDSL que copie os sinais de dados e vídeo e os converta de acordo com o protocolo Ethernet. O sinal de vídeo é separado e convertido num sinal RF e enviado para o utilizador final através do cabo coaxial. O sinal de voz continua a percorrer os cabos de telefone, até ser filtrado para remover os sinais de vídeo e dados.

No caso de os edifícios terem cabos coaxiais, é possível transmitir os 3 sinais, dados, vídeo e voz no mesmo cabo.

### 3.2. Tecnologias e soluções de rede

A escolha da tecnologia e solução de rede a implementar depende de vários factores. É necessário ter em conta os serviços que precisam de ser entregues, os custos das infra-estruturas, a infra-estrutura já existente, a localização da rede e a capacidade de, no futuro, poder migrar para novas tecnologias.

As soluções de rede para a arquitectura FTTH podem-se dividir em duas categorias principais: passivas e activas. Dentro destas categorias podem apresentar diferentes topologias:

ponto-a-ponto ou topologia em estrela. Na topologia ponto-a-ponto uma fibra dedicada liga cada casa ao *Central Office*. A topologia em estrela é uma do tipo ponto-a-multiponto, onde muitas casas partilham uma fibra desde o nó remoto onde os sinais são comutados, multiplexados ou divididos e direccionados para a casa de cada utilizador através de uma fibra dedicada. As topologias em estrela podem ser activas ou passivas, dependendo se o nó remoto tem alimentação eléctrica ou não.

A estrela passiva pode ser um sistema com um único comprimento de onda (todas as casas são servidas por um comprimento de onda comum) ou um sistema WDM (*Wavelength Division Multiplexing* – cada casa é servida por um comprimento de onda diferente).

Como exemplos de soluções de rede activas temos a *Home Run Fiber* (arquitectura ponto-a-ponto) e a *Active Ethernet* (ponto-a-multiponto). Nas soluções de rede passivas temos a PON (*Passive Optical Network*).

Independentemente da solução escolhida, cada fibra termina no Central Office num OLT (*Optical Line Terminal*). O equipamento no *Central Office* pode suportar vários tipos de interfaces (100FX Fast Ethernet, SONET, ATM, Gigabit Ethernet,...) e vários tipos de serviços (PSTN,...). O equipamento no extremo do cliente (CPE – *Customer Premises Equipment*) designa-se por *Optical Network Unit* (ONU) e suporta interfaces para POTS (Plain Old Telephone Service) e 10/100 Base-T Ethernet, e no caso das soluções PON e *Home Run* também tem interface para serviços de vídeo RF. O transporte de sinais no sentido ascendente usa, geralmente, o comprimento de onda de 1310 nm, enquanto o transporte de sinais no sentido descendente usa o comprimento de onda de 1510 nm. As arquitecturas PON e *Home Run* também suportam o serviço de distribuição de vídeo analógico. Este serviço é entregue através de canais RF analógicos, usando um comprimento de onda de 1550 nm. Todas as arquitecturas FTTH utilizam fibra monomodo (SMF – *Single Mode Fiber*).

### 3.2.1. Active Optical Networks vs Passive Optical Network

Tanto na arquitectura FTTB como na arquitectura FTTH a fibra óptica que sai do *Central Office* é partilhada por muitos utilizadores. Essa fibra é dividida em várias fibras dedicadas para cada utilizador. Dependendo da forma como esta divisão é feita, podemos classificar as arquitecturas em duas categorias diferentes: redes ópticas activas (AON – *Active Optical Network*) e redes ópticas passivas (PON – *Passive Optical Network*).

As redes activas necessitam de equipamentos com alimentação eléctrica para distribuir o sinal óptico, tal como *switches*, *routers* ou *multiplexers*. Cada sinal que sai do *Central Office* é direccionado apenas para o utilizador a que se destina. Para evitar que os sinais provenientes dos utilizadores sofram colisões à entrada das intersecções, os equipamentos de distribuição têm buffers. O tipo de rede activa mais conhecida é a Active Ethernet. Esta arquitectura utiliza *switches* Ethernet ópticos para distribuir o sinal. Estas redes são semelhantes às redes Ethernet de

computadores. Cada comutador colocado no armário de rua pode servir até 1000 utilizadores, fornecendo taxas de transmissão de 100Mbit/s numa fibra monomodo (*single-mode fiber*).

As redes passivas utilizam *splitters* ópticos passivos para que uma única fibra proveniente do *Central Office* se divida e sirva múltiplos utilizadores (geralmente 32-64). Os sinais *downstream*, provenientes do *Central Office* são difundidos para residência que se encontra ligada à fibra partilhada. Para evitar que os utilizadores tenham acesso a informação que é dirigida para outros utilizadores, os sinais *downstream* são encriptados. Os sinais *upstream* são combinados usando protocolos de múltiplos acessos, geralmente TDMA (*Time Division Multiple Access*).

### 3.2.2. Soluções de rede activas

#### 3.2.2.1. Home Run Fiber

A arquitectura *Home Run Fiber* apresenta uma topologia ponto-a-ponto, isto é, uma fibra dedicada liga um OLT (Optical Line Terminal), que se encontra no Central Office, a um ONT (Optical Network Terminal). Tanto o OLT como os ONUs são equipamentos activos (necessitam de energia eléctrica) e estão equipados com um laser óptico. O protocolo utilizado é o Ethernet.

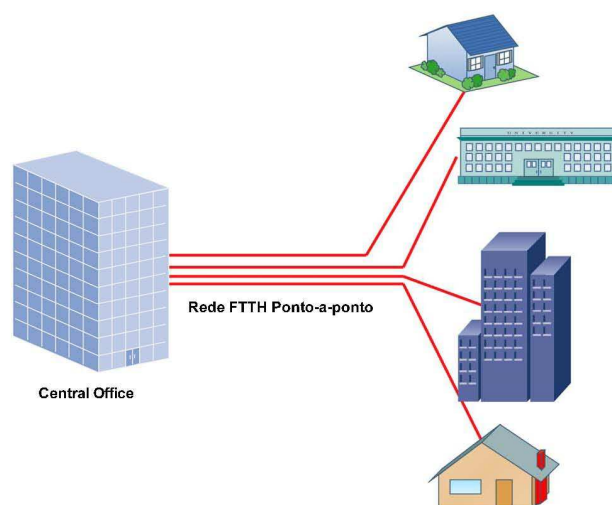


Figura 23 – Home Run Fiber

Os assinantes podem estar localizados a uma distância de, no máximo, 80 km do OLT, e cada assinante tem uma fibra dedicada que lhe garante largura de banda completa e bi-direccional. A *Home Run Fiber* é, a longo prazo, a arquitectura mais flexível mas pode, no entanto, parecer menos atractiva devido aos elevados custos associados à camada física. Como cada utilizador tem uma fibra dedicada, esta arquitectura requer a instalação de muito mais fibra que as outras opções. Os custos da fibra e a quantidade de fibra associada a esta arquitectura tornam esta rede demasiado cara e inconveniente para muitos serviços.

As principais vantagens das redes ponto-a-ponto são:

- Cada utilizador tem uma ligação dedicada. Os outros utilizadores não têm influência nas velocidades de download e upload.
- Uma ligação individual pode ser actualizada alterando os lasers nas duas extremidades.
- Os *switches* são simples e baratos, pois não necessitam de encriptação de alta velocidade para separar o tráfego dos diferentes utilizadores.

Desvantagens:

- Exige *switches* centrais com portos dedicados para cada utilizador, aumentando os custos.
- É necessária mais fibra para a implementação da rede, aumentando os custos.
- Não há sistemas disponíveis que permitam integração de Televisão analógica na mesma fibra. Como tal, em alguns casos, é necessário implementar uma fibra dedicada para a televisão analógica, aumentando os custos por assinante.

### 3.2.2.2. Active Ethernet

A solução Active Ethernet, também designada por *Ethernet Switched Optical Network* (ESON) é uma arquitectura ponto-a-multiponto onde múltiplos utilizadores partilham uma fibra óptica até a um nó remoto, situado entre o *Central Office* e o utilizador final. No nó remoto são instalados equipamentos electrónicos, como por exemplo *switches* ou *multiplexers*, para realizar a agregação da fibra de acesso. No nó remoto o sinal eléctrico é comutado para o respectivo destino e, por esta razão, é necessário realizar conversões óptico-eléctrico-óptico. O nó remoto pode ser partilhado por múltiplos assinantes através de ligações dedicadas. Tal como na arquitectura *Home Run Fiber*, os assinantes podem estar afastados do CO no máximo 80 km e cada utilizador tem uma fibra dedicada que fornece total largura de banda bi-direccional.

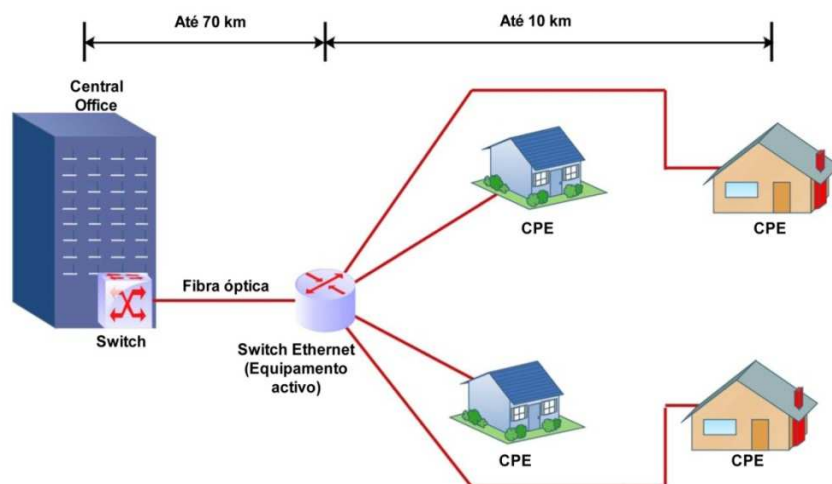


Figura 24 – Active Ethernet



Como entre o CO e o nó remoto a fibra (e a largura de banda) é partilhada por múltiplos utilizadores, a capacidade disponível para cada utilizador é inferior à oferecida pela arquitectura *Home Run*. A arquitectura Active Ethernet reduz a quantidade de fibra que é necessário implementar, reduzindo os custos através da partilha de fibra. Esta arquitectura oferece os benefícios das tecnologias ópticas Ethernet, topologia de rede muito simples e fornece uma grande flexibilidade para crescimentos futuros.

### 3.2.3. Soluções de rede passivas (Passive Optical Network)

*Passive Optical Network* (PON) apresenta uma topologia ponto-a-multiponto, ou seja, tem uma topologia de rede onde o meio é partilhado e múltiplos utilizadores partilham a largura de banda. Na PON, *splitters* ópticos passivos são utilizados para dividir a largura de banda de uma única fibra para até 64 utilizadores, podendo percorrer, no máximo, uma distância de 20 km.

As redes ópticas passivas utilizam uma fibra para ligar múltiplos utilizadores finais. Isto é conseguido utilizando topologias em anel, árvore ou *bus*. A principal característica de uma PON é que a fibra na rede é partilhada por vários utilizadores. Nas comunicações no sentido descendente é utilizado um laser que envia informação e *splitters* passivos que dividem a informação em direcção aos utilizadores finais e individuais. O caminho de retorno é quando os utilizadores enviam informação de volta e o *splitter* integra essa informação na fibra.

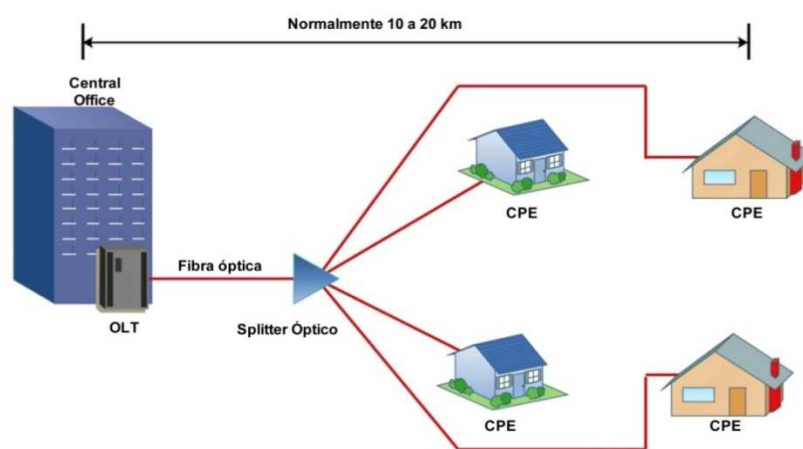


Figura 25 - PON

Numa PON, o OLT situado no C.O. liga-se ao ONT situado no extremo do utilizador. Tanto o OLT como o ONT são elementos activos (necessitam de energia eléctrica). A arquitectura é designada passiva pois todos os *splitters* e os restantes equipamentos intermédios localizados entre o CO e o ONT são passivos. Tal como na arquitectura *Home Run Fiber*, a PON utiliza dois comprimentos de onda: 1310 nm para *upstream* e 1510 nm para *downstream*. Geralmente o comprimento de onda de 1550 nm é reservado para *broadcast* de sinais de vídeo analógicos.

A forma como as PONs são construídas influencia o modo de operação da rede por parte dos operadores. Dependendo da localização do *splitter* óptico podem-se obter três redes diferentes.



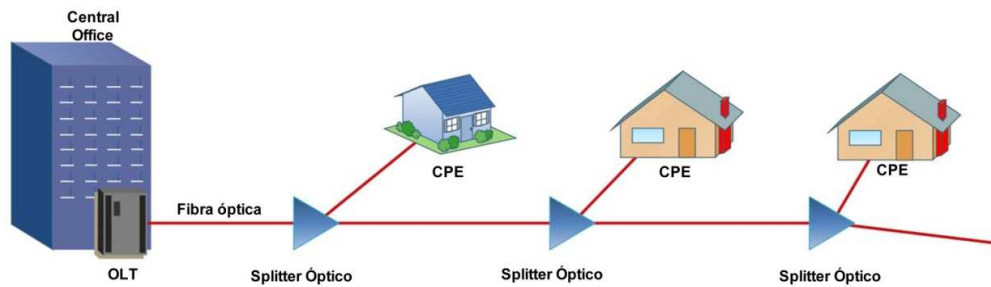


Figura 26 – PON com splitters perto das residências

Neste cenário o *splitter* localiza-se perto da casa do utilizador. Uma fibra é utilizada para servir um grupo de residências. Em cada residência é instalado um *splitter*. Esta é a solução que poupa mais fibra mas dificulta a partilha da infra-estrutura, pelos operadores, no caso da desagregação do lacete local (LLU *Local Loop Unbundling*).

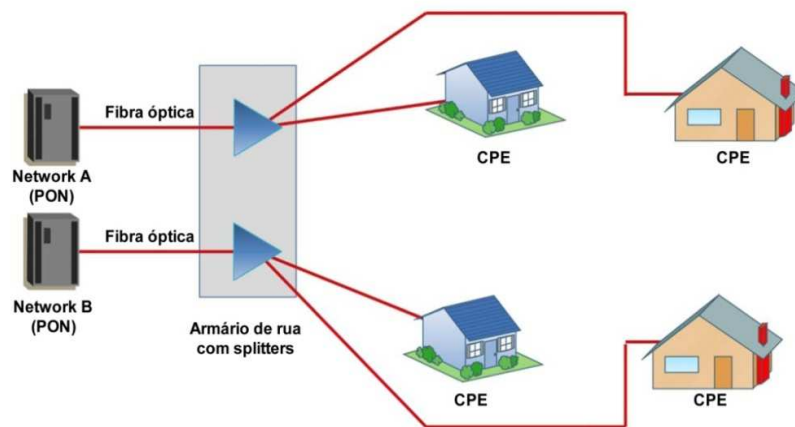


Figura 27 – PON com splitters nos armários de rua

Neste cenário o *splitter* localiza-se a meio da rede, nos armários de rua. Os cabos de fibra entram no armário de rua onde sinal óptico é dividido. A partir do armário estabelece uma ligação ponto-a-ponto, onde cada casa tem a sua própria fibra.

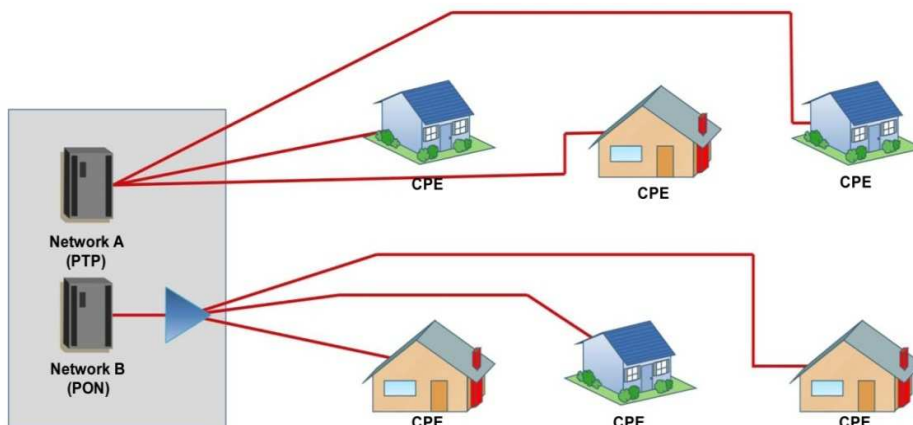


Figura 28 – PON com splitter no Central Office

Neste cenário está representada uma rede ponto-a-ponto com PONs. O *splitter* é colocado no *Central Office*, permitindo que a rede seja utilizada como rede PON ou ponto-a-ponto. Este cenário apresenta permite que assinantes que residem em vizinhanças diferente se liguem a *splitters* diferentes, não havendo limitações em relação à distância e ao *power budget*.

As redes ópticas passivas têm várias vantagens:

- A instalação de fibra necessita de menos investimento, excepto uma variante onde um *splitter* é utilizado na central de comutação permitindo que a PON se transforme numa rede ponto-a-ponto.
- A utilização de hardware de transmissão, no Central Office, mais barato e de menor manutenção.
- Capacidade de dividir a fibra apenas no momento em que se acrescentam novos assinantes.
- Os equipamentos utilizados na rede não necessitam de alimentação.

Desvantagens:

- Largura de banda partilhada e, como tal, o uso de um utilizador pode influenciar o dos outros.
- É difícil fazer o upgrade de utilizadores individuais para larguras de banda mais elevadas. Tem de se fazer o upgrade de todos os utilizadores ao mesmo tempo.

### 3.3. PON (Passive Optical Network)

As instalações actuais FTTH têm por base Gigabit Ethernet ou ATM com taxas de transmissão entre os 100 Mbps e 1 Gbps. Uma das opções para FTTH/B são as PONs.

Uma PON (*Passive Optical Network*) é uma arquitectura ponto-a-multiponto, de redes do tipo FTTP, onde *splitters* ópticos passivos são usados para permitir que uma única fibra óptica sirva múltiplas instalações (geralmente 32-128). Estas redes são chamadas passivas pois, com a excepção do *Central Office* e do equipamento do utilizador, não há necessidade de energia eléctrica em toda a rede. Este facto simplifica muito a rede e reduz os custos de operação e manutenção. A configuração PON reduz a quantidade de fibra e equipamento necessário na central local, comparativamente às arquitecturas ponto-a-ponto. Numa PON os fluxos descendentes e ascendentes são tratados de forma diferente. Os sinais descendentes são difundidos para todas as instalações, partilhando a fibra. O sinal emitido pelo OLT é recebido por todos os ONUs e cada um selecciona a informação que lhe é transmitida. Estes sinais são encriptados para que apenas uma instalação tenha acesso à informação transmitida. Os sinais ascendentes são combinados através de um protocolo de múltiplos acessos. Na comunicação no sentido ascendente, os ONUs partilham o meio físico, sob orientação do OLT. Os ONUs acedem ao meio físico em tempos distintos (TDMA – *Time Division Multiple Access*) ou utilizando tecnologias de multiplexagem mais recentes como o WDM (*Wavelength Division Multiplexing*).

### 3.3.1. Principais elementos da PON

A topologia PON é do tipo ponto-a-multiponto, onde *splitters* ópticos são utilizados para dividir uma única fibra em várias, que vão servir vários utilizadores individuais. Uma PON consiste num nó central chamado OLT (*Optical Line Termination*), situado na central local (*Central Office*) do fornecedor de serviços, um ou mais nós de utilizador, chamados ONUs (*Optical Network Unit*) ou ONT (*Optical Network Termination*) perto dos utilizadores finais, e fibras e os *splitters* entre elas, que constituem o ODN (*Optical Distribution Network*).

#### 3.3.1.1. OLT (Optical Line Termination)

O OLT é o responsável por gerir todos os aspectos relacionados com a PON, isto é, transporte de informação entre as terminações de cliente dos ONU e as interfaces com os nós de serviço. Este equipamento fornece, também, interface entre a PON e a rede *backbone*.

O OLT controla o fluxo de informação, tanto no sentido descendente como no sentido ascendente, ao longo da rede de fibra. No sentido descendente, o OLT recebe tráfego proveniente da rede de interligação (rede *backbone*) e difunde-o para todos os ONUs/ONTs ligados à rede. O sinal emitido pelo OLT é recebido por todos os ONUs e cada um selecciona a informação que lhe é transmitida. Estes sinais são encriptados para que apenas um ONU tenha acesso à informação transmitida. Na comunicação no sentido ascendente, os ONUs partilham o meio físico, sob orientação do OLT. Os sinais ascendentes são combinados através de um protocolo de múltiplos acessos TDMA – *Time Division Multiple Access*). Para evitar colisões, o OLT atribui diferentes intervalos de tempo (*timeslots*) a cada ONU. De forma a otimizar a utilização da largura de banda, a atribuição dos *timeslots* pode ser feita utilizando alocação dinâmica da largura de banda (DBA – *Dynamic Bandwidth Allocation*). Através de DBA, os intervalos de tempo de utilizadores poucos activos podem ser atribuídos a utilizadores com grandes necessidades de largura de banda.

Os OLTs são responsáveis por gerir até 128 ligações *downstream*, enquanto os ONT/ONUs apenas são responsáveis pela sua própria ligação.

#### 3.3.1.2. ONT (Optical Network Termination)

O ONT faz a interface do lado do cliente (onde podem existir terminações RDIS e POTS, DSL e Ethernet) e do lado da fibra óptica. É o equipamento que termina a PON e oferece interface de serviços ao utilizador (no caso em que a fibra vai até às instalações do cliente). Estes serviços podem incluir voz (POTS, VoIP), dados (Ethernet ou V.35) e vídeo. Este equipamento fica localizado dentro das residências dos utilizadores, sendo utilizado na arquitectura FTTH (*Fiber To The Home*). O ONT é responsável pela conversão dos impulsos de luz em sinais Ethernet.

### 3.3.1.3. ONU (Optical Network Unit)

Os ONUs são os equipamentos que terminam a PON, ficando localizados perto das residências dos utilizadores, quer seja dentro de um edifício (*Fiber To The Building*), quer perto do edifício (*Fiber To The Curb*) ou num armário de rua que serve um conjunto de edifícios (*Fiber To The Cabinet*). O ONU oferece interface de serviços direccionados ao utilizador (xDSL, Coax, Ethernet) e interfaces ópticas. Estes equipamentos ainda pertencem ao fornecedor de serviços. Alguns ONUs implementam unidades de assinante separadas para fornecer serviços como telefone, dados Ethernet ou vídeo.

### 3.3.1.4. Splitters

Os *splitters* são equipamentos passivos que, geralmente, têm uma entrada e N saídas. Quando a informação é no sentido descendente, o sinal óptico enviado pelo ONT entra no *splitter* e é distribuído para vários cabos de fibra, que vão até às residências dos utilizadores. O sinal que sai do *splitter* é apenas uma fracção do sinal de entrada, tendo  $1/N$  da sua potência. No sentido ascendente, os sinais enviados pelos ONUs são multiplexados num único sinal, que é enviado para o OLT.

## 3.3.2. Tecnologias PON

Em 1995, alguns operadores de rede formaram a iniciativa FSAN (*Full Service Access Network*) com o objectivo de criar uma especificação unificada para redes de acesso de banda larga. O FSAN desenvolveu especificações para redes de acesso ópticas baseadas em PON. Existem vários tipos de tecnologias e normas PON:

- APON – (*ATM Passive Optical Network* – ITU-T G.983) foi a primeira a aparecer. Era utilizada para aplicações empresariais e permitia 622 Mbps no sentido descendente e 155 Mbps no sentido ascendente com uma divisão de 32-64. O protocolo utilizado é o ATM (*Asynchronous Transfer Mode*). A distância máxima de cobertura é de 20 km, com uma atenuação total entre 10 e 30 dB;
- BPON - (*Broadband PON*) foi uma evolução da APON, permitindo WDM e alocação dinâmica de largura de banda para *upstream* (DBA – *Dynamic Bandwidth Allocation*). A alocação dinâmica da largura de banda é a capacidade de fornecer diferentes prioridades na atribuição da largura de banda aos assinantes, para que os requisitos dos diferentes serviços e aplicações sejam suportados. Esta arquitectura oferecia serviços baseados em ATM, distribuição de vídeo, linhas alugadas e acesso Ethernet. A BPON tinha as desvantagens de apenas fornecer largura de banda de cerca de 622 Mbps no sentido descendente e 155 Mbps no sentido ascendente e ser muito cara;

- GPON - (Gigabit PON – ITU-T G.984) foi uma evolução da BPON e impulsionou o aumento da largura de banda total e largura de banda eficaz, através do uso de pacotes maiores e de tamanho variável. Oferece a convergência de serviços de voz e dados e permite o transporte de múltiplos serviços na sua forma nativa, especificamente TDM. Fornece taxas bastante mais elevadas (2.5 Gbps no sentido descendente e 1.25 Gbps no sentido ascendente), mais segurança e permite a escolha do protocolo (ATM, GEM, Ethernet). O uso do GEM (GPON *Encapsulation Method*) permite um empacotamento muito eficaz do tráfego do utilizador, pois faz segmentação das frames para permitir maior qualidade de serviço para tráfego sensível a atrasos (voz e vídeo);
- EPON - (Ethernet PON – IEEE 802.3) é uma tecnologia que foi desenvolvida na Ásia, utilizando protocolos Ethernet e IP em vez de ATM e SONET. É uma norma direccionada para o uso de Ethernet para pacotes de dados. Fornece taxas de transmissão simétricas de cerca de 1 Gbps. É baseada nos protocolos Ethernet e IP. Foi a primeira tecnologia FTTH a fornecer largura de banda simétrica de 1 Gbps. Esta tecnologia tem menor custo de implementação pois o processamento de tramas Ethernet é muito mais simples e barato que o processamento dos pacotes ATM e SONET. O processamento de pacotes ATM e SONET requer um controlo de tempo preciso e sincronizado, tornando os circuitos muito caros. No caso dos pacotes Ethernet, a sua reassemblagem é insensível ao tempo (os pacotes percorrem a rede de forma não sincronizada), tornando o seu processamento mais barato;
- WDM-PON – (*Wavelength Division Multiplexing* PON) usa múltiplos comprimentos de onda para aumentar a largura de banda disponível para os utilizadores finais. Podem ser utilizados para separar os ONUs em diferentes PONs virtuais que coexistem na mesma infra-estrutura. Em alternativa os comprimentos de onda podem ser utilizados em multiplexagem estatística, fornecendo uma utilização mais eficiente dos comprimentos de onda e atrasos mais pequenos nos ONUs. Os WDM-PON podem oferecer maior largura de banda através de distâncias maiores. O PON tira proveito das vantagens do WDM. Neste tipo de multiplexagem é usado um comprimento de onda para tráfego no sentido descendente e outro para tráfego no sentido ascendente, numa única fibra. Para se enviar sinais do OLT, são utilizados lasers com frequências fixas ou um laser com várias frequências. Todos os ONUs recebem todos os comprimentos de onda através de um *splitter* passivo e, para seleccionar a frequência que lhe é destinada, é utilizado um filtro. O *splitter* também combina os fluxos *upstream* dos ONUs, cada um com seu comprimento de onda. As tecnologias BPON, EPON e GPON têm os mesmos princípios no que toca a comprimento de onda. Usam o comprimento de onda de 1490 nm para tráfego descendente e 1310 nm para tráfego ascendente. O comprimento de onda 1550 nm é reservado para alguns serviços opcionais (sinais RF analógicos).

### 3.4. GPON

As tecnologias PON (*Passive Optical Network*) estão disponíveis desde os anos 90 e desde então têm vindo a evoluir. A primeira tecnologia PON foi a APON (ATM PON) que evoluiu para *Bradband* PON (BPON). BPON é compatível com APON. A Ethernet PON (EPON) é a solução alternativa para redes PON. É um standard do IEEE não compatível com A/BPON. É uma PON exclusiva para Ethernet e tráfego IP. GPON foi definido pela recomendação G-984.1, é compatível com APON e BPON, e para além de transportar Ethernet, suporta tráfego ATM, TDM, utilizando o método de encapsulação GEM (GPON *Encapsulating method*).

#### 3.4.1. Princípios de Funcionamento GPON

Os únicos equipamentos activos de uma rede GPON são os OLTs (*Optical Line termination*) e os ONUs (*Optical Network Units*). A partir do *Central Office*, uma única fibra monomodo (SMF – *Single-mode fiber*) liga-se a um *splitter* óptico passivo, tal como mostra a Figura 29 – GPON. O *splitter* divide a fibra óptica em N caminhos diferentes para os assinantes. O número dos caminhos resultantes varia de 2 a 64. A partir do *splitter* uma única fibra monomodo percorre o caminho até o utilizador final. O alcance físico do GPON é até 20 km, suportando também um alcance lógico até 60 km.

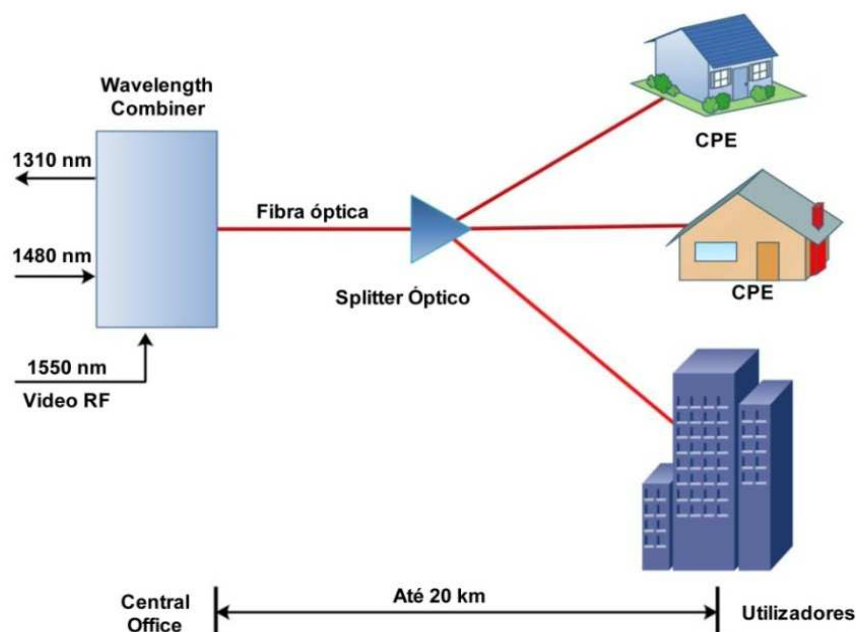


Figura 29 – GPON

A norma GPON define diferentes taxas de transmissão para *downstream* e *upstream*:

**Tabela 1 – Taxas de transmissão para GPON**

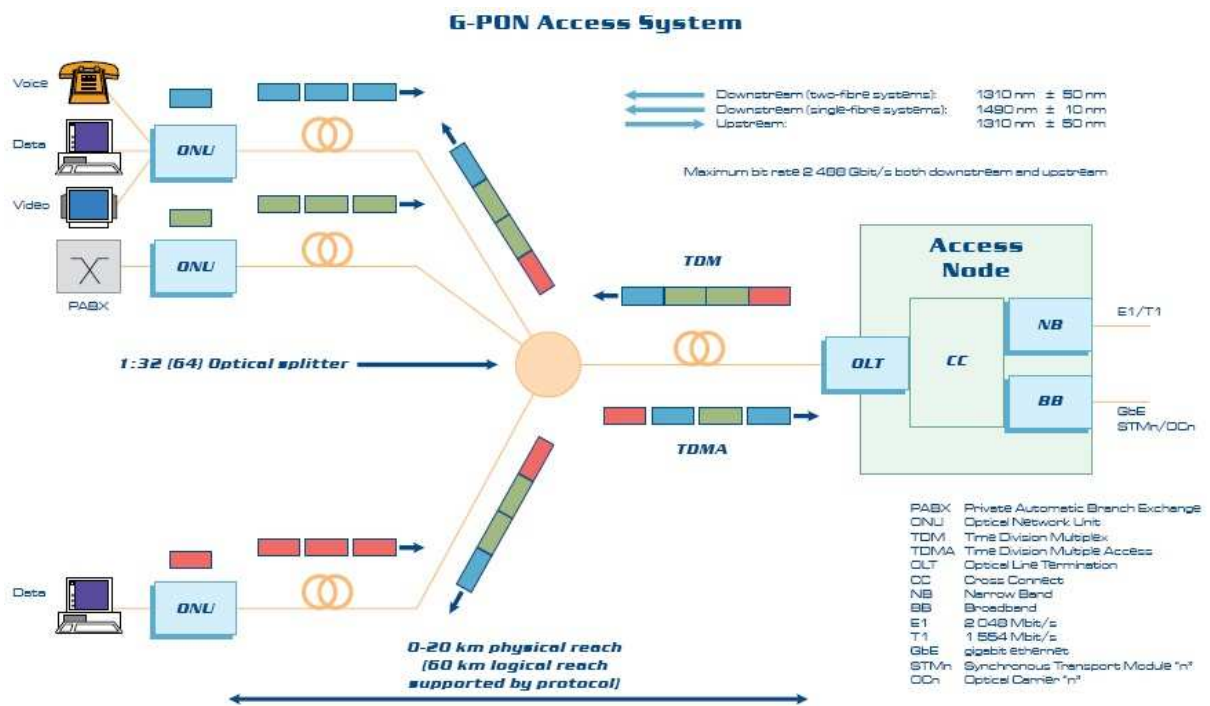
Direcção do fluxo	Taxa de Transmissão
Downstream	1244.16 Mbit/s
	2488.32 Mbit/s
Upstream	155.52 Mbit/s
	622.08 Mbit/s
	1244.26 Mbit/s
	2488.32 Mbit/s

Apesar de todas as combinações serem possíveis, excepto *downstream* 1.2 Gbit/s e *upstream* 2.4 Gbit/s, a combinação mais comum é 1.2 Gbit/s no fluxo na direcção ascendente e 2.4 Gbit/s no fluxo na direcção descendente.

### 3.4.2. Características Técnicas

#### 3.4.2.1. Gama de comprimentos de onda

No GPON existem três fluxos de informação e cada um corresponde a um comprimento de onda distinto. A gama de comprimentos de onda de funcionamento é 1480-1510 nm para *downstream* e 1260-1360 para *upstream*. Um comprimento de onda adicional, na gama 1550-1560 nm pode ser utilizado, no sentido descendente, para distribuição de vídeo RF.



**Figura 30 – GPON [ref. 22]**

### 3.4.2.2. Forward error correction

O *Forward Error Correction* (FEC) é uma técnica matemática de processamento de sinal que codifica os dados para que os erros possam ser detectados e corrigidos. Com esta técnica é adicionada informação redundante à informação original, no entanto, a quantidade de informação adicional é tão pequena que não introduz muito *overhead* (processamento em excesso). O FEC resulta num aumento no *link budget* de aproximadamente 3 a 4 dB. Como tal, taxas de transmissão mais elevadas e distâncias superiores entre o OLT e o ONU podem ser suportadas, bem como um número mais elevado de *splitters* numa única árvore PON.

### 3.4.2.3. Dinamic Bandwidth Allocation

A alocação dinâmica de largura de banda (DBA) é um método que permite ao utilizador a adopção rápida de largura de banda, tendo por base os requisitos de tráfego. O DBA é controlado pelo OLT, que aloca largura de banda nos ONUs. É uma técnica que funciona apenas no tráfego no sentido ascendente, pois no sentido descendente o tráfego é difundido (*broadcast*).

De forma a evitar colisões entre a informação enviada pelos ONUs é utilizado TDMA (*Time Division Multiple Access*), isto é, a cada ONU é atribuído um intervalo de tempo (*timeslot*) para enviar informação para o OLT. No entanto, quando o ONU não tem informação para transmitir, o *timeslot* continua reservado para esse ONU.

O DBA permite um controlo do tráfego mais eficiente, adaptando-se a flutuações dinâmicas de tráfego. Este método permite atribuir os *timeslots* que não estão a ser utilizados a utilizadores com grandes necessidades de largura de banda.

Para determinar a largura de banda a atribuir a um determinado ONU, o OLT necessita saber o *status* do tráfego do T-CONT associado ao ONU. T-CONTs (*traffic containers*) indicam quantos pacotes estão à espera de ser enviados no *buffer*. Cada ONU tem associados vários T-CONTs. Depois do OLT receber esta informação, pode re-atribuir a largura de banda aos ONUs de acordo com as suas necessidades. O *status* de cada T-CONT não só influencia a atribuição de largura de banda, como a prioridade do serviço, a qualidade de serviço (QoS) e o número de *timeslots* atribuídos a cada ONU. Quando um ONU não tem informação à espera de ser enviada, envia um sinal de IDLE para informar o OLT que o seu *buffer* está vazio. Isto permite ao OLT atribuir esse T-CONT a outro ONU. Se um ONU está há muito tempo em fila de espera, o OLT atribui vários T-CONT a esse ONU.

### 3.4.2.4. T-CONT

T-CONTs (*traffic containers*) são mecanismos de gestão de tráfego *upstream* da PON. Cada T-CONT é identificado por um alloc-ID (identificador de alocação), e são utilizados como unidades de controlo representando uma única fila de espera para *upstream* de um ONU.



O meio de transmissão numa PON (fibra óptica) é partilhado por vários utilizadores ao mesmo tempo. Se todos iniciassem as suas transmissões ao mesmo tempo iriam provocar colisões e retransmissões, provocando uma degradação no desempenho da rede. Utilizando TDMA (*Time Division Multiple Access*) o meio partilhado comporta-se como várias ligações ponto-a-ponto entre cada ONU e o OLT. O OLT é informado sobre as necessidades de largura de banda de cada ONU. No tráfego no sentido ascendente, as tramas enviadas pelos ONUs podem ser divididas em diferentes categorias (T-CONTs). Existem cinco tipos de T-CONTs:

- T-CONT 1 – é um T-CONT estático e garante alocação de largura de banda fixa e tem a prioridade mais alta. Destina-se a aplicações sensíveis a atrasos temporais;
- T-CONT 2 – garante alocação de largura de banda fixa e destina-se a aplicações que não sejam sensíveis a atrasos temporais, com taxas de transmissão variáveis. A atribuição da largura de banda é feita durante a transferência;
- T-CONT 3 – não garante atribuição de largura de banda;
- T-CONT 4 – a atribuição de largura de banda é do tipo *best-effort* e tem a prioridade mais baixa;
- T-CONT 5 – é uma combinação de dois ou mais tipos de T-CONT, acima referidos.

#### **3.4.2.5. Sincronização**

O GPON utiliza um *framing* fixo a 125  $\mu$ s para o sinal *downstream*. Na direcção de *upstream* é utilizado TDMA e, como tal, cada ONU necessita de ser sincronizado de modo a garantir um transporte sem colisões e criar um *timing* comum para as tramas *upstream*.

#### **3.4.2.6. Ranging**

Durante a activação e registo inicial, o OLT utiliza um procedimento chamado *ranging* de modo a calcular o atraso apropriado que cada ONU deve inserir relativamente à trama de *downstream* recebida, com o objectivo de sincronizar a fase de *upstream* de todos os ONUs na rede.

#### **3.4.2.7. Segurança**

O princípio básico de funcionamento do GPON é que os dados no sentido descendente (*downstream*) são difundidos (*broadcast*) para todos os ÓNUS e cada ONU tem intervalos de tempo alocados quando a informação lhe pertence (como no TDM). Devido a este facto, utilizadores maliciosos podem reprogramar o seu próprio ONU e capturar toda a informação que pertence aos outros ONUs ligados àquele OLT. Nas transmissões no sentido ascendente, GPON utiliza ligações do tipo ponto-a-ponto, tornando todo o tráfego seguro.

É necessário um mecanismo de segurança que assegure que todos os utilizadores têm permissão de aceder apenas à informação que lhes é dirigida. O algoritmo de encriptação utilizado

é o AES (*Advanced Encryption Standard*) para encriptar a carga útil (*payload*). Este algoritmo aceita chaves de 128, 192, 256 bytes, o que torna a encriptação extremamente difícil de corromper. Uma chave é mudada periodicamente sem que o fluxo de informação seja perturbado. A chave de encriptação associada a cada ONU pode ser enviada em *upstream*, pois nenhum ONU tem acesso ao tráfego de *upstream* proveniente de outros ONUs da mesma PON.

### 3.4.2.8. Protecção

A arquitectura de protecção do GPON é considerada uma melhoria na fiabilidade das redes de acesso. No entanto, a protecção é um mecanismo opcional porque a sua implementação depende de sistemas económicos. Isto pode implicar a necessidade de duplicar alguns componentes que constituem a rede (configurações *duplex*).

Existem 2 tipos de comutação (*switching*) de protecção, comutação automática (*automatic switching*) e comutação forçada (*forced switching*). O primeiro é accionado pela detecção de erros, tais como perda de sinal, perda de *frames*, degradação do sinal,...O segundo é activado por eventos administrativos, tais como substituições de fibra,... Os dois tipos de comutação, apesar de serem opcionais, devem ser possíveis na rede GPON, caso seja necessário. Todas as ligações existentes entre o C.O. e o equipamento terminal devem ser mantidas após a comutação.

### 3.4.2.9. GPON Protection Schemes

Foram definidos quatro topologias de protecção:

- Tipo A - esta configuração duplica apenas as fibras ópticas entre o *Central Office* e o *splitter* (*splitter* 1:N). Os ONUs e o OLT são únicos. Nesta configuração perdas de sinal ou perdas de tramas são inevitáveis durante o período de comutação. No entanto todas as ligações entre o equipamento terminal e o C.O. são mantidas após a comutação;

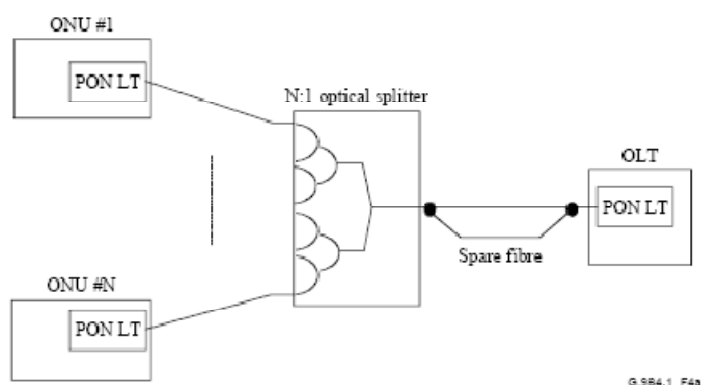


Figura 31 – Tipo A [ref. 13]

- Tipo B – esta configuração duplica os OLTs e as fibras ópticas entre os OLTs e o *splitter*. O *splitter* tem duas entradas do lado do OLT, isto é, utilizam-se *splitters* 2:N. Esta

configuração implica manter o segundo OLT em *standby*. Nesta configuração perdas de sinal ou perdas de tramas são inevitáveis durante o período de comutação. No entanto todas as ligações entre o equipamento terminal e o C.O. são mantidas após a comutação;

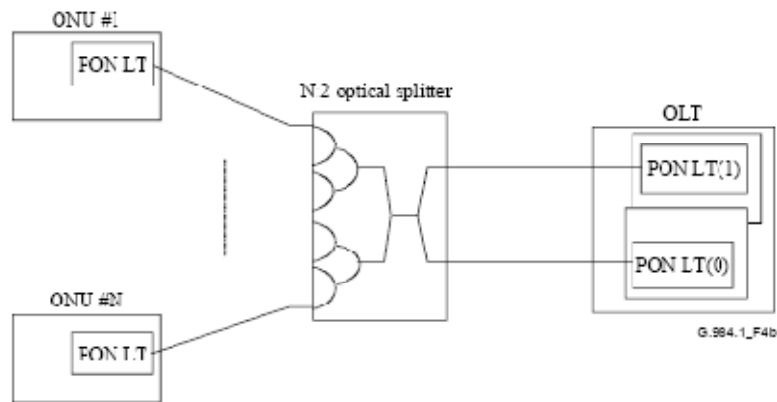


Figura 32 – Tipo B [ref. 13]

- Tipo C – esta configuração duplica não só os OLTs e as fibras ópticas, mas também os ONUs. Nesta configuração é possível recuperar de qualquer falha em qualquer ponto da rede, bastando para isso realizar a comutação. Nesta configuração é possível realizar o processo de comutação sem perdas de sinais;

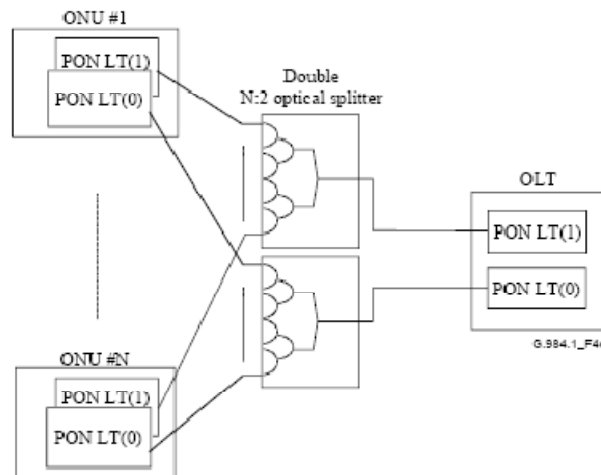


Figura 33 – Tipo C [ref. 13]

- Tipo D – se os ONUs forem instalados em edifícios pode não ser possível duplicar a cablagem dentro do edifício. Por outro lado, se os ONUs pertencerem a utilizadores individuais, a decisão de duplicar este equipamento vai depender do utilizador. Esta configuração permite uma duplicação parcial dos ONUs.

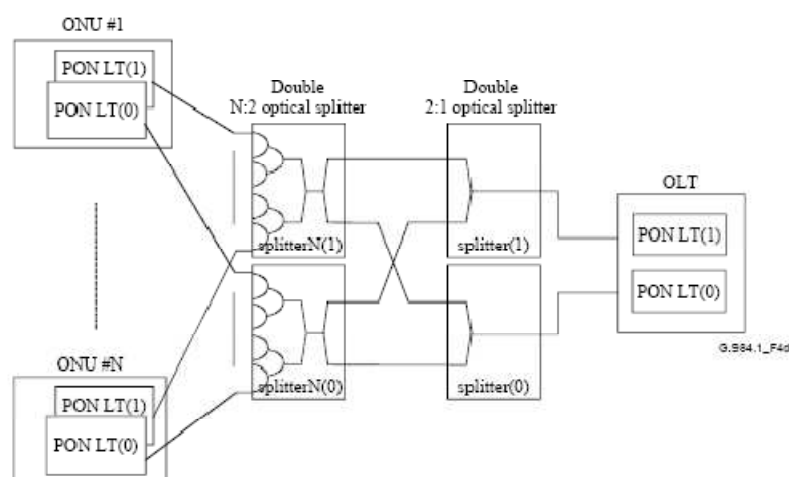


Figura 34 – Tipo D [ref. 13]

### 3.4.2.10. Transmissão GPON

GPON utiliza GEM (GPON *Encapsulation Method*) como método de encapsulação, de forma a permitir a fragmentação de pacotes. O GEM fornece comunicação orientada à ligação (*connection-oriented*) e baseia-se numa versão ligeiramente modificada do método de envio de pacotes IP através de redes SDH.

### 3.4.3. Splitter Óptico

Uma PON típica liga uma única fibra, desde o OLT, a múltiplos ONUs. A ligação ponto-a-multiponto entre o OLT e os múltiplos ONUs é conseguida através da utilização de um ou mais *splitters* (divisores) ópticos. Estes dispositivos têm uma única entrada e múltiplas saídas. Normalmente o número de saídas é  $2^n$  ( $n=2, 4, 8, \dots$ ) e a potência óptica é dividida igualmente entre as saídas. A potência em cada saída é reduzida, relativamente à entrada, de um factor de  $n \times 3.5$  dB ( $10 \log 2^n = n \times 10 \log 2$ ; os 0.5dB são adicionados para incluir as perdas no *splitter*). O *splitter* óptico é um dispositivo bi-direccional. O sinal óptico sofre uma atenuação de 3.5dB em ambas as direcções.

Existem duas técnicas de fabrico de *splitters*: *Fused Biconical Taper* (FBT) e *Planar Lightwave Circuit* (PLC). Um *splitter* 1x2 FBT é feito através da fusão de duas fibras. Para se conseguirem split ratios mais elevadas, colocam-se múltiplos *splitters* 1x2 em cascata. Um *splitter* PLC consiste num circuito óptico microscópico, geralmente feito de sílica.

### 3.4.4. Algumas características do GPON

GPON suporta diferentes taxas de transmissão para tráfego *upstream* e *downstream*, sendo as mais comuns 1.25Gbit/s e 2.5Gbit/s. Suporta transporte ATM e transporte baseado em pacotes, tendo, também, a capacidade de transporte Ethernet eficaz (eliminando algum tempo de

processamento através do processo de encapsulamento). Suporta fragmentação de pacotes, permitindo a utilização eficiente do meio de transporte.

Esta norma fornece a largura de banda e a qualidade de serviço (QoS) adequada aos clientes residenciais e ao pequeno comércio e alguns dos serviços necessários para as grandes empresas também podem ser suportados.

GPON suporta eficazmente os serviços da rede legada, os serviços actuais e até serviços futuros. Isto é possível através do método de encapsulamento GEM. Segurança pode ser implementada através de várias técnicas de encriptação, entre elas AES.

GPON disponibiliza serviços de IPTV e CATV. IPTV fornece serviço de vídeo baseado *multicast* IP, isto é, diferentes programas são configurados com diferentes endereços *multicast* e chegam ao ONU através de uma série de servidores de *broadcast*. Na CATV, sinais analógicos dos tradicionais canais de TV são transmitidos através dos cabos. Através da conversão eléctrico-óptico, um fluxo de vídeo é convertido numa onda óptica no OLT e adicionada a outras ondas ópticas no GPON, com comprimentos de onda diferentes (sinais de vídeo RF utilizam comprimento de onda de 1550 nm). As ondas ópticas são transmitidas num fluxo descendente através da fibra óptica. Depois das ondas chegarem aos ONUs, os sinais de vídeo são separados para fornecer serviço de vídeo.

### 3.5. EPON

Ethernet PON é uma rede baseada em PON que transporta tráfego de dados encapsulados em frames Ethernet. A tecnologia EPON utiliza protocolos Ethernet e IP. As redes EPON são constituídas por fibra óptica, apresentando uma topologia ponto-a-multiponto que suporta velocidades até 1 Gbps e permite um alcance de 20 km. Uma rede EPON é constituída por um OLT (*Optical Line Terminal*), uma rede de fibras ópticas (ODN – *Optical Distribution Network*) e um ONU (*Optical Network Unit*). O OLT encontra-se no *Central Office* (POP – *Point Of Presence*). Este equipamento será um *switch* Ethernet ou uma plataforma *Media Converter*. O ONU pode estar instalado nas residências dos assinantes, num edifício ou num armário de rua. A rede de fibra entre o OLT e o *splitter* é partilhada, enquanto a rede que liga o *splitter* ao ONU é dedicada a cada assinante.

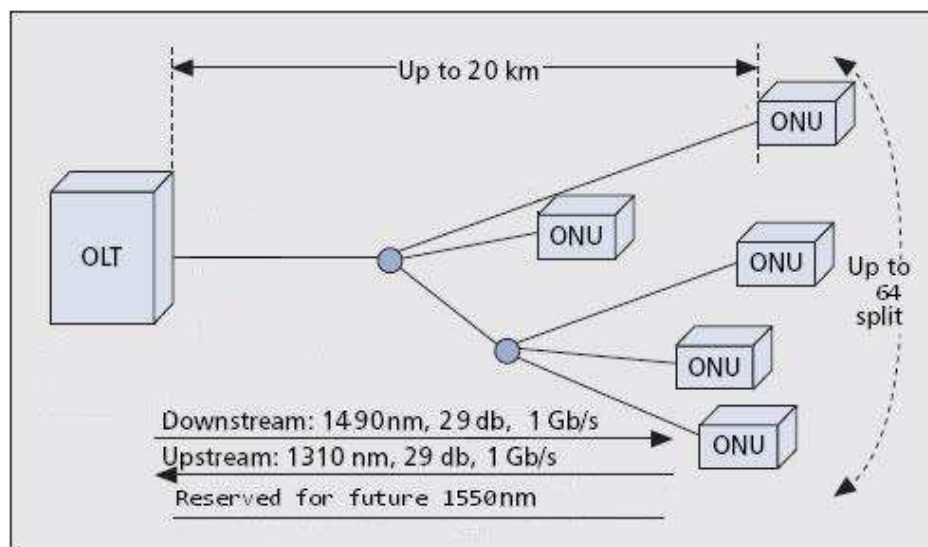


Figura 35 – Topologia EPON [ref. 24]

EPON baseia-se na norma Ethernet, enquanto outras tecnologias PON se baseiam na norma ATM. Este facto permite utilizar equipamento IP, tanto na residência do assinante como no *Central Office*, tornando as redes EPON adequadas ao transporte de qualquer tipo de tráfego, desde dados (pacotes) a transporte de voz e vídeo (sensíveis a atrasos temporais).

Os sistemas EPON multiplexam os sinais com diferentes comprimentos de onda para transmissões no sentido descendente (*downstream*) e no sentido ascendente (*upstream*):

- Sentido descendente: comprimento de onda 1490 nm, *link budget* de 29 ou 26 dB e taxa de transferência de 1 Gb/s.
- Sentido ascendente: comprimento de onda 1310 nm, *link budget* de 29 ou 26 dB e taxa de transferência de 1 Gb/s.
- O comprimento de onda de 1550 nm é reservado e é utilizado para transmissão de vídeo, analogamente à G-PON.

### 3.5.1. Princípio de funcionamento

#### 3.5.1.1. Transmissões no sentido descendente (*downstream*)

Na direcção de *downstream* os dados são transmitidos pelo OLT através de um *splitter* passivo 1:N até ao ONU. O factor de divisão do *splitter* varia entre 8 a 64. Os dados enviados pelo OLT são difundidos, sendo depois extraídos pelo ONU de destino, identificado pelo LLID (*Logical Link ID*).

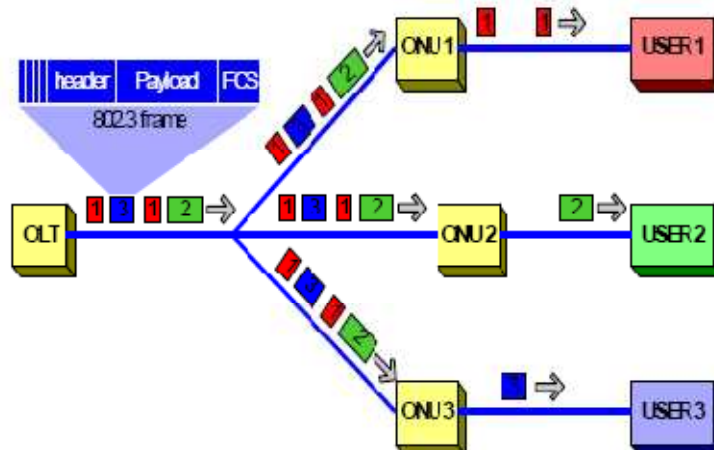


Figura 36 – Downstream em EPON [ref. 9]

### 3.5.1.2. Transmissões no sentido ascendente (*upstream*)

Nas transmissões no sentido ascendente, são utilizadas ligações ponto-a-ponto, tornando o tráfego seguro. O OLT controla a transmissão, permitindo que apenas um ONU de cada vez envie informação, para evitar colisões. Todos os ONUs são sincronizados com uma referência de tempo comum e, a cada um, é alocado um *timeslot* para transmissão, podendo este transportar vários frames Ethernet. O ONU armazena os dados num *buffer* até chegar o seu *timeslot*. Se o ONU não tiver dados no *buffer* para preencher todo o *timeslot* é transmitido um sinal IDLE. Os esquemas de alocação temporal podem ser estáticos, como TDMA (*Time Division Multiple Access*), ou esquemas dinâmicos baseados no tamanho da fila de espera de cada ONU. Neste último, o OLT é responsável por obter informação sobre o tamanho das filas de espera dos ONUs e atribuir os *timeslots*. Esta abordagem permite um uso mais eficiente da largura de banda.

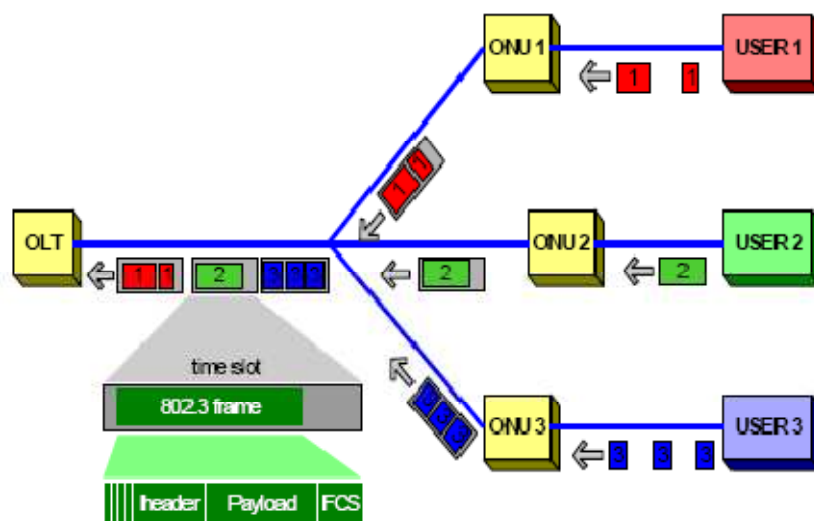


Figura 37 – Upstream em EPON [ref. 9]

### 3.5.1.3. MPCP (Multi-Point Control Protocol)

O controlo da rede ponto-a-multiponto é realizado através do protocolo MPCP (*Multi-Point Control Protocol*). Este protocolo é responsável pela atribuição de largura de banda, incluir novos ONUs na rede (processo de *auto-discovery*) e medir o tempo de resposta de cada ONU. O MPCP é implementado na camada MAC, introduzindo novas mensagens (64 bytes) de controlo:

- GATE e REPORT – utilizadas para atribuição e pedidos de largura de banda;
- REGISTER – utilizada para controlar o processo de introdução de novos ONUs na rede.

O MPCP consiste nas três funções seguintes:

- *Discovery Processing* – neste processo os novos ONUs são encontrados e registados na rede, sendo medido o tempo de ida e volta (RTT – *Round Trip Time*) de um sinal entre o OLT e o ONU;
- *REPORT Handling* – Os ONUs geram mensagens REPORT nas quais são transmitidos os requisitos de largura de banda ao OLT. Os OLTs processam estas mensagens para poderem fazer a atribuição da largura de banda.
- *GATE Handling* – As mensagens GATE são utilizadas pelo OLT para conceder um *timeslot* a um ONU, permitindo a transmissão de dados.

### 3.5.1.4. Modo de operação ente OLT e ONU

O OLT gera uma janela de tempo, chamada *Discovery Time Window*, que se destina aos ONUs que se pretendem ligar à rede, dando-lhes tempo para se manifestarem.

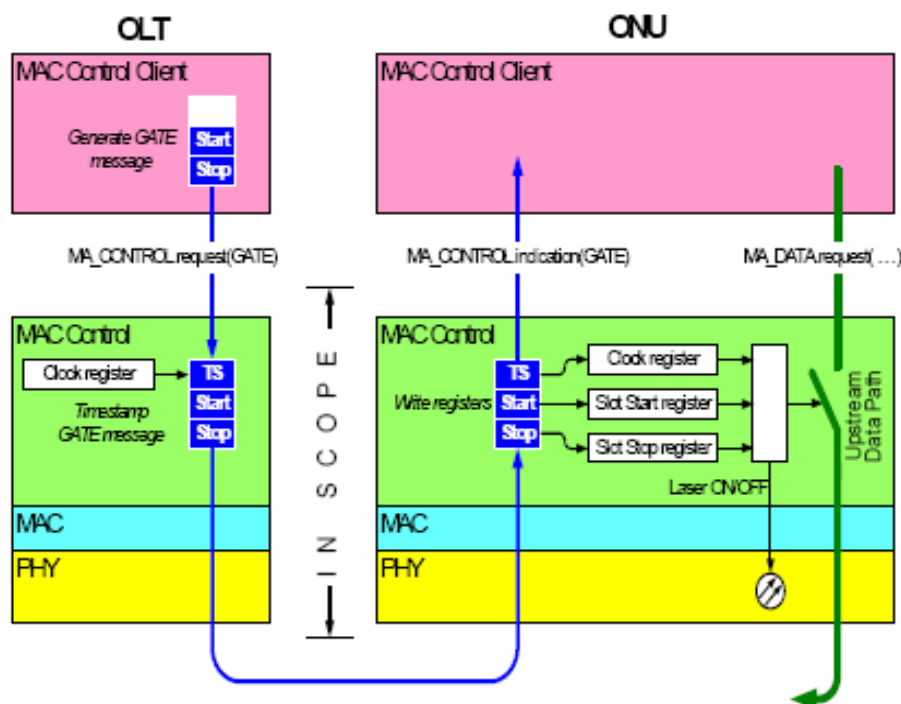


Figura 38 – Percurso da mensagem GATE do OLT até ao ONU [ref. 9]



O OLT envia, para a rede a mensagem GATE. Esta mensagem contém a duração da *Discovery Time Window* e o tempo inicial da janela. Os novos ONUs (que ainda não estão registados na rede) respondem, enviando a mensagem REGISTER\_REQ que contém, entre outras informações, o endereço MAC do ONU. Existe um algoritmo que evita colisões entre as mensagens dos diferentes ONUs e a fragmentação dos pacotes, obrigando-os a aguardar um período de tempo pseudo-aleatório, antes de enviarem a mensagem REGISTER\_REQ.

Quando o OLT recebe a mensagem REGISTER\_REQ, o endereço MAC do ONU é registado, o OLT atribui ao ONU um identificador *Logical Link ID* (LLID) e largura de banda, e é enviado um sinal de sincronização. Essa informação é enviada na mensagem REPORT.

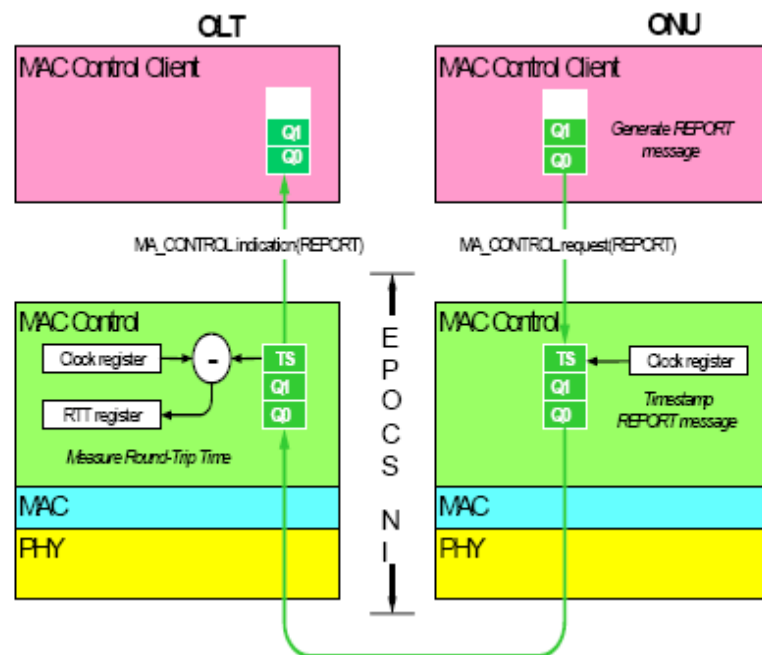


Figura 39 – Mensagem REPORT [ref. 9]

*Link ID* é o parâmetro verificado para que o OLT saiba qual o ONU que enviou o pacote, e para que os ONUs saibam a qual deles se destina a informação enviada pelo OLT. Quando o ONU processa a mensagem REPORT, emite um *Register\_ACK*.

### 3.5.2. Forward Error Correction

O *Forward Error Correction* (FEC) é uma técnica de processamento de sinal que codifica os dados para que os erros possam ser detectados e corrigidos. Esta técnica utiliza o código Reed Solomon, onde 16 bytes de verificação de paridade são adicionados a cada 239 bytes de dados, criando um bloco de 255 bytes.

### 3.6. Tendências da evolução

As tecnologias PON estão a ter sucesso em aplicações em redes de acesso, especialmente com o desenvolvimento da tecnologia GPON. Estas redes são atraentes devido à sua simplicidade, às velocidades que se conseguem alcançar e ao facto da infra-estrutura OSP (*outside plant*) possuir um potencial quase ilimitado. A largura de banda disponível numa rede PON é suficiente para satisfazer as necessidades actuais e para fornecer os serviços existentes. É, no entanto, difícil de prever até quando essa largura de banda será suficiente. A ascensão de aplicações como IPTV e VoD não foram previstas na concepção das redes actuais. A transmissão de dados a alta velocidade e o conceito de Gbps até casa do utilizador são conceitos que estão a ser revistos por todo o mundo. Tudo isto suscita a questão de como irão ser as PONs de próxima geração e como vão ser aproveitadas as infra-estruturas que estão a ser desenvolvidas actualmente.

Um requisito muito importante nas PONs de próxima geração é que forneçam mais largura de banda por utilizador, do que as tecnologias PON actuais. A nova tecnologia deve ser capaz de operar sobre a infra-estrutura OSP existente, para que os operadores de rede não tenham de investir novamente noutra infra-estrutura. A nova tecnologia deve suportar os serviços existentes para que os utilizadores não se apercebam das mudanças na rede.

#### 3.6.1. Next Generation PON

A tecnologia GPON suporta os serviços integrados de áudio, dados e vídeo, apresentando elevada largura de banda, longa distância de transmissão e a possibilidade do transporte de vários serviços, além de funções OAM (*Operations, Administration and Maintenance*) melhoradas.

Em 2007 a FSAN estabeleceu um novo plano de desenvolvimento de NGPON. O FSAN-OAN (*Optical Access Network*) desenvolve a tecnologia NGPON em duas fases. A primeira fase (NGA1) centra-se na tecnologia óptica de acesso de próxima geração que possa coexistir com a tecnologia GPON. O principal objectivo do NGA1 é estabelecer os standards para a tecnologia NGPON que compartilhem a mesma ODN (*Optical Distribution Network*) da tecnologia GPON existente. O NGA1 envolve pesquisas nas tecnologias WDM, GPON e GPON de longa distância. Espera-se que a topologia actual com um split ratio de 1:128, permitirá que alguns clientes sejam actualizados para bit rates mais elevados sem consequências para outros utilizadores da mesma rede PON. A segunda fase (NGPA2) centra-se na tecnologia óptica de acesso de próxima geração independente da tecnologia PON existente. O modelo que está a ser estudado admite a possibilidade de se construir uma nova infra-estrutura. As áreas de investigação do NGPA2 incluem o DWDM-PON com taxas até 40 Gbps e redes híbridas WDM/TDM-PON, apresentando taxas elevadas, longa distância e elevado split ratio.

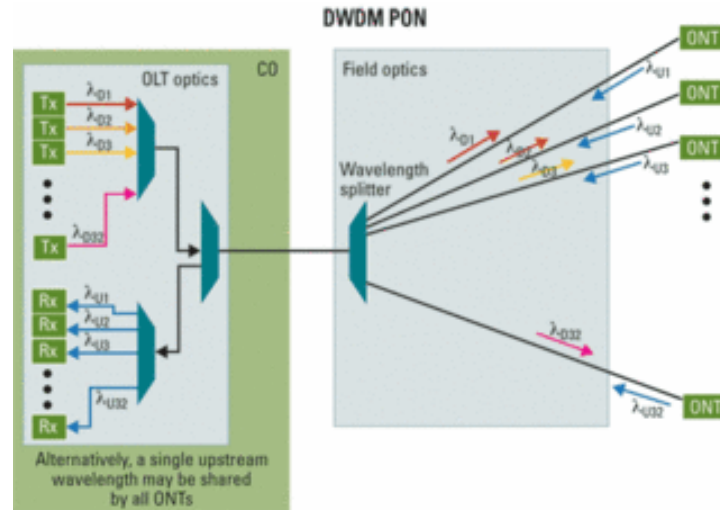


Figura 40 – DWDM-PON [ref. 19]

A rede óptica passiva de longo alcance (LR-PON) proposta pela BT (*British Telecom*) é uma estrutura de rede típica do NGPA2. A cobertura do OLT nesta rede excede os 100 km e uma única fibra óptica consegue suportar simultaneamente 1.024 utilizadores. Neste caso, a rede de banda larga é uma rede óptica plana com menor número de equipamentos e com custos de manutenção reduzidos.

O principal objectivo das PONs de próxima geração (NGPON) é fornecer largura de banda superior a cada utilizador, utilizando a infra-estrutura existente. A NGPON iria utilizar uma topologia híbrida de TDM e WDM, uma inovação relativamente às redes GPON e EPON que utilizam TDM (*Time Division Multiplexing*). Ainda não se definiu uma norma para NGPON. Ainda estão a ser discutidas quais serão as suas características no que relativamente a comprimentos de onda, *link budget*, número de ONUs que podem estar ligados à rede, distância máxima, componentes nós de acesso e no OLT.

A rede terá uma topologia em anel, interligando o *Central Office* (C.O.) e os nós remotos. Cada nó terá um AWG ou um *splitter* para ligar os ONUs dos utilizadores e fazer a distribuição de comprimentos de onda para cada um. Os utilizadores poderão receber um comprimento de onda reservado para cada utilizador ou poderão partilhar o mesmo comprimento de onda através de TDM. Outra inovação será no alcance da rede, que poderá atingir 100 km. O OLT emitirá vários comprimentos de onda que irão ser distribuídos para os ONUs respectivos.

Nessa configuração, o número de ONUs ligados ao mesmo OLT será mais elevado do que nos outros modelos, já que o que o OLT pode enviar um grande número de comprimentos de onda e cada um pode ser usado por mais de um ONU. Esta configuração implica utilizar OLTs diferentes e mais complexos dos utilizados nas outras tecnologias PON. Os utilizadores que pretendam utilizar NGPON têm de fazer um upgrade aos seus ONUs.

### 3.6.2. 10GPON

Os grupos ITU e IEEE têm focado o seu trabalho em aumentar a velocidade de transmissão *downstream* para 10 Gbps, sendo este o próximo passo na evolução das PONs. Taxas de transmissão de 10 Gbps envolvem vários desafios técnicos como o controlo da dispersão, sensibilidade dos receptores e questões relacionadas com a potência necessária para taxas tão elevadas. Apesar destes desafios, todas as tecnologias necessárias para uma taxa de 10 Gbps *downstream* já estão a ser demonstradas. A versão do IEEE para a norma 10GPON já tem vários parâmetros definidos: três *power budgets* (baixo, médio e elevado) e duas taxas de *upstream* (1 Gbps e 10 Gbps). Enquanto o IEEE escolheu apenas duas alternativas para velocidades de *upstream*, o FSAN debate uma terceira opção: 2,4 Gbps.

### 3.6.3. WDM-PON

Outra opção para as PON de próxima geração é baseada em WDM.

As tecnologias BPON, EPON e GPON têm os mesmos princípios no que toca a comprimento de onda. Usam o comprimento de onda de 1490 nm para tráfego no sentido descendente e 1310 nm para tráfego no sentido ascendente. O comprimento de onda 1550 nm é reservado para alguns serviços opcionais (sinais RF analógicos).

A WDM-PON é um tipo de PON que usa múltiplos comprimentos de onda para aumentar a largura de banda disponível para os utilizadores finais. Enquanto nas tecnologias EPON e GPON se utiliza o conceito de múltiplos acessos por divisão temporal (a cada ONU é atribuído um *timeslot*), no WDM-PON a divisão é feita no domínio do comprimento de onda. No WDM-PON cada ONU tem um comprimento de onda reservado para comunicar com o OLT, permitindo redes ponto-a-ponto na infra-estrutura PON. As redes WDM-PON podem oferecer maior largura de banda através de distâncias maiores.

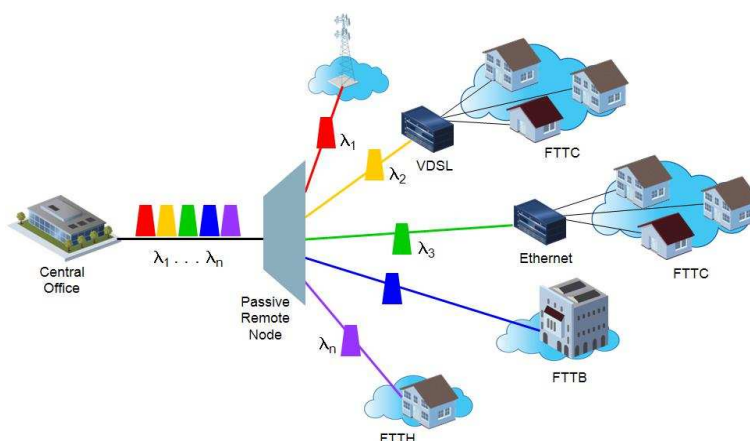


Figura 41 – WDM-PON [ref. 24]

Numa rede WDM-PON, o *splitter* óptico (que divide a potência do sinal) usado nas PONs tradicionais é substituído por um *splitter* de comprimentos de onda. Isto permite que a potência do sinal recebido em cada ONU seja muito mais elevada do que nas redes PON.

Uma das maiores desvantagens das WDM-PON é o facto de ser necessário um transmissor individual para cada ONU, enquanto nas PONs tradicionais apenas é necessário um transmissor por cada 32 ou 64 ONTs.

Os ONUs podem utilizar várias tecnologias para enviar o sinal:

- Lasers sintonizáveis;
- *Broadcast*, o OLT emite um sinal com os comprimentos de onda. Os ONUs ao receberem o sinal filtram-no, e acedem apenas ao comprimento de onda que lhes é destinada.
- Utilizar um *Arrayed Waveguide Grating* (AWG). Este equipamento recebe um sinal com vários comprimentos de onda e separa-os para as diferentes saídas

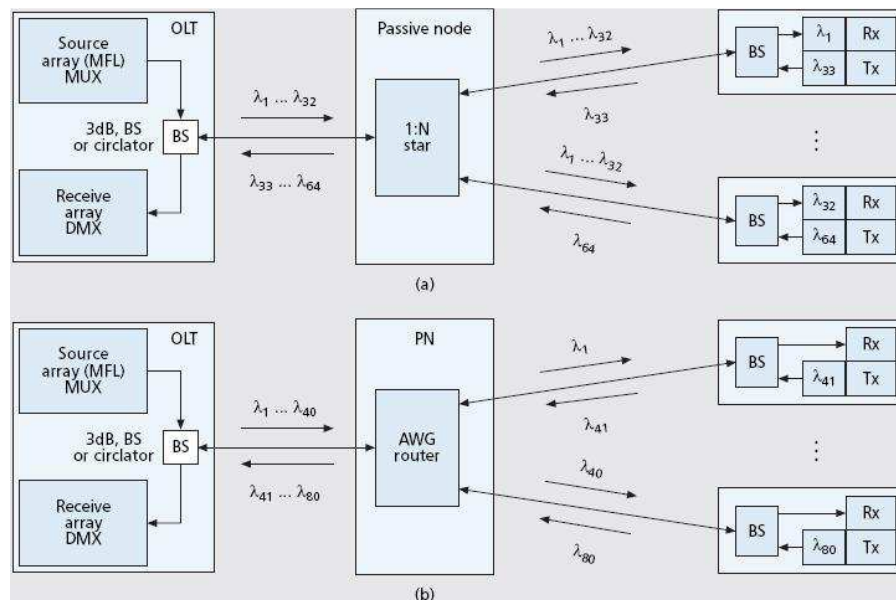


Figura 42 – WDM-PON [ref. 24]

Quando o OLT envia um sinal, pode utilizar array de lasers com comprimentos de onda fixos ou um laser sintonizáveis. Os ONUs recebem todos os comprimentos de onda e utilizam um filtro para seleccionar o comprimento de onda que lhe é destinado. Outro método é utilizar um AWG que envia para cada ONU apenas o comprimento de onda que lhe foi reservado. A vantagem de utilizar um AWG) é ter uma perda de 5 dB, enquanto um *splitter* tem perdas de 12dB, reduzindo o *link budget* do sistema.

Uma ideia inovadora que tem sido proposta é uma abordagem híbrida da tecnologia WDM. Uma rede WDM-PON híbrida baseia-se na norma GPON, mas envia quatro comprimentos de onda em simultâneo para *downstream*.

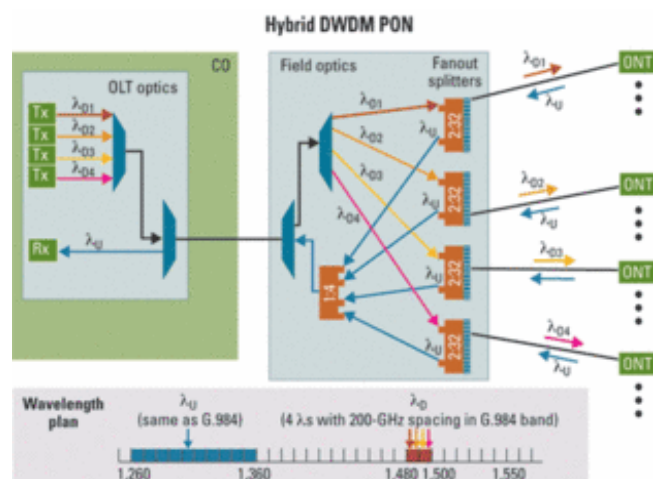


Figura 43 – Solução WDM-PON híbrida utilizando *splitters* [ref. 19]

Os quatro comprimentos de onda estão dentro da gama de comprimentos de onda que os ONUs conseguem receber, não sendo necessária a sua substituição. Assim, o factor de divisão da rede deixa de ser 1:32 passando para 1:8.

Outra opção para a abordagem híbrida da tecnologia WDM é colocar filtros sintonizáveis no ONU.

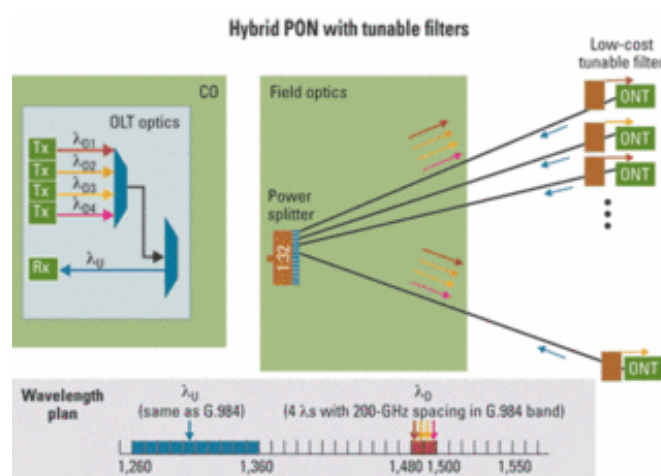


Figura 44 – WDM-PON utilizando filtros sintonizáveis no ONU [ref. 19]

Esta solução é mais flexível, pois a alocação dos comprimentos de onda pode ser atribuída dinamicamente. No entanto, a utilização de filtros sintonizáveis em cada ONU torna esta solução muito mais dispendiosa, no CAPEX e OPEX.

Uma desvantagem das redes WDM-PON híbridas é a largura de banda limitada para transmissões *upstream*. Enquanto a largura de banda, para transmissões *downstream*, aumentou consideravelmente, nas transmissões *upstream* não sofreu alterações. As transferências simétricas estão a ser cada vez mais utilizadas e os utilizadores necessitam de maior largura de

banda para tráfego *upstream*. Devido a este facto, as redes WDM-PON não serão a solução ideal para uma PON de próxima geração.

### 3.6.4. Long Reach PON

*Long Reach* PONs representam o próximo passo na evolução das redes de acesso ópticas, capazes de fornecer serviços com elevados requisitos de largura de banda.

As redes PON são uma solução eficiente para o problema de largura de banda, que ainda não é muito elevada nas redes de acesso actuais. Na arquitectura PON há uma única fibra a ligar o *Central Office* ao nó de acesso perto das residências dos utilizadores. Aí a fibra é dividida passivamente em várias fibras individuais que se vão ligar directamente às residências dos utilizadores. As primeiras gerações de PON já estão a ser comercializadas. As tecnologias mais avançadas (GPON e GEAPON) oferecem 2,5 Gbps ou 1 Gbps *downstream* e 1 Gbps *upstream*, partilhados entre 64 utilizadores através de um *splitter* passivo, utilizando TDMA e com um alcance máximo de 20 km. Estas tecnologias oferecem largura de banda superior à disponível nas redes de cobre tradicionais. No entanto, estas poderão não ser soluções “à prova de futuro” (*future proof*).

Novas investigações têm sido feitas de forma a encontrar soluções de redes mais radicais. Estas soluções utilizam amplificação óptica, têm elevado factor de divisão (aproximadamente 1000) e grande alcance (aproximadamente 100km). Estas são as *Long-Reach* PONs (LR-PONs), que se destinam a utilizadores individuais, permitindo larguras de banda de até 10 Gbps *upstream* e *downstream*. Estas LR-PONs irão substituir os segmentos de acesso e *metro* das redes actuais, constituindo uma única rede integrada de comunicações ópticas.

Tendo por base os princípios de funcionamento da PON, as redes LR-PON (*Long-Reach* PON) permitem grandes poupanças, levando o alcance físico da rede até à rede *core*. Este facto elimina a necessidade de equipamento adicional para ligar a rede de acesso à rede *core*, eliminando a rede *metro*.

Actualmente a tecnologia mais que oferece maior capacidade é a GPON, permitindo que taxas de 2,5 Gbps sejam divididas entre 64 utilizadores (no máximo) ao longo de 20 km. Nas redes ponto-a-multiponto, a capacidade da rede é partilhada entre todos os utilizadores. Aumentando o número de utilizadores sem aumentar a taxa de transmissão resultaria numa diminuição de largura de banda que cada utilizador recebe. Aumentar a taxa de transmissão para 10 Gbps iria resolver esse problema, mas seria necessário utilizar transmissores de alta velocidade em cada ONU, aumentando o custo de cada ONU. Para se conseguir implementar uma rede de longo alcance, com as características pretendidas será necessário utilizar equipamentos complexos e sofisticado (e consequentemente caros) como amplificadores ópticos, transmissores de alta velocidade, técnicas de compensação de dispersão, etc. A utilização destes equipamentos irá aumentar consideravelmente os custos de implementação da rede. O custo adicional, associados a estes equipamentos, pode ser reduzidos colocando esses equipamentos

na secção partilhada da rede, melhorando o seu desempenho. Assim, os equipamentos partilhados podem, ser mais caros, sem que haja um aumento drástico nos custos totais por utilizador. Também será possível aumentar a capacidade da rede, através da utilização de multiplexagem estatística, aumentando o número de utilizadores para 1024. A capacidade disponível para cada utilizador irá depender da utilização da rede. Como nem todos os utilizadores se encontram activos em simultâneo, a capacidade da rede pode ser partilhada dinamicamente entre os utilizadores activos. Aumentar o alcance da rede pode trazer ainda mais benefícios para os operadores. As redes de telecomunicações são muito complexas contudo, aumentando o alcance da rede de acesso até 100 km, ligando-a directamente à rede *core*, poderá simplificar a rede. Os custos totais da rede são reduzidos pois não existe necessidade de equipamento adicional, tal como anéis SDH para ligar a rede de acesso à rede *core*. Outra vantagem das redes LR-PON é a possibilidade de efectuar poupanças significativas nas implementações rurais, através da diminuição do número de C.O. necessários e aumentando a área de cobertura de cada C.O.



## 4. Análise Tecno-Económica de uma solução FTTx

### 4.1. Propósito

Tendo em vista adquirir uma imagem aproximada do perfil económico associado às opções FTTx na rede de aceso, este capítulo apresenta um estudo de caso baseado numa solução FTTx.

O cenário analisado corresponde a uma rede FTTH usando tecnologia GPON. Este cenário é fortemente influenciado por aquilo que se imagina ser o contexto do projecto FTTx/GPON da Portugal Telecom, nomeadamente na definição dos investimentos necessários e das condições de instalação e operação:

- Disponibilidade total de condutas e demais infra-estrutura física necessária para a instalação da fibra óptica;
- Uso exclusivo dos equipamentos e demais recursos instalados no *Central Office*, na rede primária e na rede de distribuição;
- Investimento faseado no tempo em função da penetração no mercado e dedicado à compra dos seguintes itens:
  - Equipamento do *Central Office*;
  - *Splitters* de campo;
  - Cablagem dentro dos edifícios;
  - Equipamentos nas residências dos clientes (CPE – *Costumer Premises Equipment*).

### 4.2. Metodologia

Quando se realiza um estudo sobre um projecto de implementação de rede de telecomunicações é necessário realizar uma análise técnico-económica. De entre os aspectos a ter em conta realçam-se os seguintes:

- Caracterização demográfica e geográfica da zona onde se vai implementar a rede;
- Identificação dos serviços que se adequam à zona/cenário em estudo;
- Identificação das possíveis soluções de rede (arquitectura e tecnologias, etc.) adequadas à provisão dos serviços a oferecer;
- Dimensionamento das redes;
- Determinação os modelos de negócios e de operação;
- Estimativa de custos e proveitos associados às diferentes tecnologias e arquitecturas;
- Construção e comparação de cenários técnico-económicos (soluções/modelo de exploração).

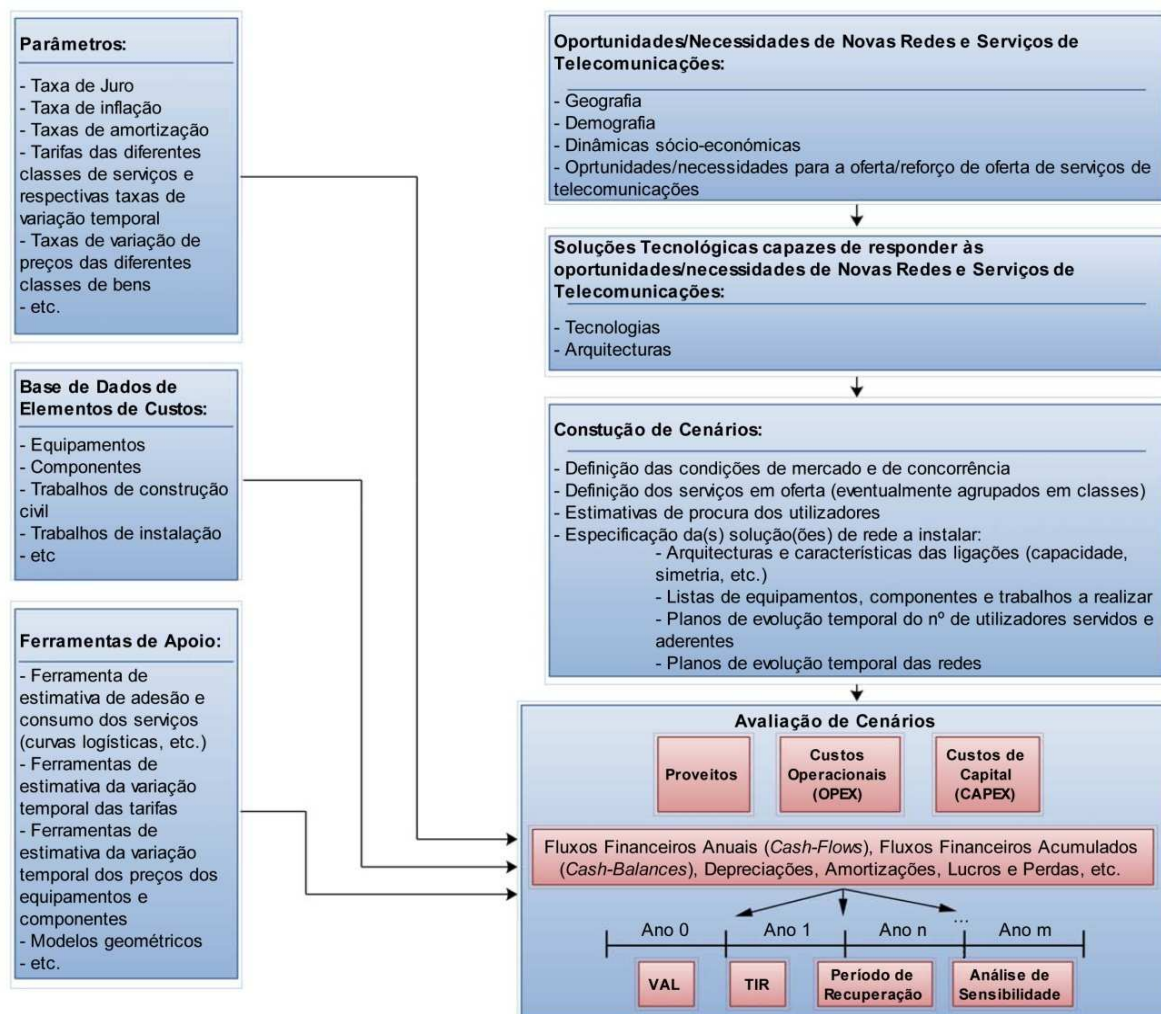


Figura 45 - Estrutura da ferramenta de análise tecno-económica [ref. 20]

### 4.3. Ferramenta de cálculo

Para se efectuar esta análise utilizou-se uma ferramenta de cálculo baseada em Excel [ref. 20]. Para cada topologia foi explorado um cenário base, incluindo variações nos pressupostos tais como a variação da taxa de penetração.

#### 4.3.1. Parâmetros de entrada

Os parâmetros de entrada da ferramenta são a taxa de penetração e o número de potenciais assinantes (que vai evoluir ao longo dos anos, dependendo da taxa de penetração). Outros parâmetros importantes são a descrição dos serviços oferecidos aos assinantes e a descrição das tipologias.

### 4.3.2. Parâmetros de saída

Na avaliação de projectos de investimentos são usados certos indicadores como é o caso do Período de Recuperação (*Payback Period*), o Valor Líquido Actual (*Net Present Value*) e a Taxa Interna de Rentabilidade (*Internal Rate of Return*).

A ferramenta apresenta, como parâmetros de saída, os seguintes resultados económicos:

- Investimentos - Os investimentos são faseados durante o período de duração do estudo;
- Receitas - São calculadas a partir das tarifas associadas a cada serviço e da taxa de penetração de cada serviço;
- Lucros - Os lucros são calculados a partir das receitas, investimentos e respectivas taxas.

### 4.4. Descrição dos serviços

A descrição dos serviços fornece-nos as suas características e a sua penetração no mercado (número de assinantes de um serviço durante o período de tempo que decorre o estudo).

É possível agrupar os clientes em cinco classes, segundo as suas características e necessidades:

- Clientes residenciais, *single play* – serviços de voz;
- Clientes residenciais, *dual Play* – serviços de voz e Internet;
- Clientes residenciais, *triple Play* – serviços de voz, Internet e TV;
- Clientes residenciais, *quad Play* – serviços de voz, Internet, TV e *Video on Demand*;
- Clientes empresariais – procuram segurança, flexibilidade, modularidade e possibilidade de ter um leque infindável de serviços e aplicações (VPN, Internet, voz, etc.).

A penetração dos serviços no mercado depende da taxa de penetração inicial (ano 0 do projecto) e da taxa de saturação. As taxas de penetração em cada ano são calculadas pela seguinte fórmula [ref. 7]:

$$P_t = P_i + (P_f - P_i) \frac{1}{1 + Ke^{-At}}$$

Onde:

- $P_i$  - Taxa de penetração inicial;
- $P_f$  - Taxa de penetração final;
- $K$  - parâmetro de controlo do momento de arranque do mercado;
- $A$  - parâmetro de controlo da velocidade de arranque do mercado.

Ou, pela fórmula equivalente:

$$Penetração\ Inicial + \frac{(Penetração\ Final - Penetração\ Inicial)}{1 + e^{\alpha + \beta Ano}}$$

onde que *Ano* é o ano do projecto e  $\alpha$  e  $\beta$  são as constantes que controlam a velocidade de aumento da curva logística.

A cada serviço estão associadas tarifas. Há dois tipos de tarifas:

- Tarifa de ligação - o custo inicial para o utilizador de instalação dum determinado serviço;
- Tarifa anual, que é o custo anual do serviço.

## 4.5. Componentes da rede

Os custos dos componentes necessários para a implementação da rede são calculados a partir de uma base de dados. Essas informações consistem na identificação do componente, as suas características e o seu custo unitário.

### 4.5.1. Pressupostos relativamente a custos

Quando se implementam redes de fibra óptica é necessário fazer investimentos nas seguintes áreas:

- Fibra e infra-estruturas: é necessário investir em postes, se a fibra se destinar a implementação aérea, construir condutas, armários de rua, juntas de fibra óptica e outro tipo de infra-estrutura física. Estes investimentos representam uma grande parte dos custos totais e irão durar 15 a 20 anos;
- Componentes activos: os sistemas ópticos e eléctricos que permitem à rede enviar e receber sinais (*switches*, OLTs, ODFs etc). Estes componentes precisam de ser substituídos em cada 4 anos;
- Equipamento nas residências dos clientes: modems, *decoders* para IPTV/digital TV;
- Custos de pessoal: gestão, administração da rede, contabilidade, equipas de manutenção e reparação e apoio ao cliente.

A quantidade de investimentos que vão ser necessários depende de diversos factores:

- Dimensão da zona onde se vai implementar a rede;
- Densidade populacional da zona;
- Escolha entre condutas ou postes e a disponibilidade da infra-estrutura existente;
- Tipo de edifícios (edifícios em altura ou moradias);

- Custos dos direitos de passagem e acesso a edifícios;
- Encargos municipais (custos de repavimentação, acesso a condutas, licenças).

A solução analisada reflecte uma rede FTTH, implementada usando GPON. Os investimentos necessários para a rede FTTH/GPON concentram-se em 5 áreas:

- Instalação das infra-estruturas de telecomunicações utilizando fibra óptica;
- Equipamento no *Central Office*;
- *Splitters* passivos;
- Cablagem dentro dos edifícios;
- Equipamentos nas residências dos clientes (CPE – *Client Premises Equipment*).

#### **4.5.1.1. Instalação das infra-estruturas utilizando fibra**

As novas infra-estruturas em fibra óptica vão ser instaladas ao longo da rede de cobre existente. A rede pode ser dividida em vários segmentos. O primeiro segmento liga o *Central Office* ao armário de rua ou junta de *splitting* óptico, constituindo a rede primária (*Feeder Network*). O segundo segmento liga o armário de rua ao ponto de distribuição (PDO), constituindo a rede de distribuição (*Distribution Network*). O terceiro segmento liga o ponto de distribuição às unidades dos assinantes (UAs), isto é, às residências dos clientes, constituindo a rede de cliente (*Drop Network*). No caso de a residência do cliente ficar num o ponto de distribuição situa-se à entrada do edifício, logo os custos deste segmento da rede serão substituídos pelos custos da cablagem dentro do edifício.

Em cada segmento há custos associados a:

- Construção de novas condutas;
- Custos dos cabos de fibra óptica;
- Custos de instalação da fibra.

#### **4.5.1.2. Equipamento no *Central Office***

No *Central Office* é necessário um OLT para terminar cada ligação de fibra. Considera-se que, em média, a cada porto do OLT estão ligados 64 assinantes. Cada porto do OLT tem um custo associado. Também são necessários outros equipamentos como amplificadores RF, multiplexers WDM e ODFs. Cada um destes equipamentos tem um custo associado. É necessário considerar o custo adicional, de cada ligação de cada fibra (conectores, *splicing*).

#### **4.5.1.3.     *Splitters* passivos**

Os *splitters* são equipamentos ópticos passivos, que não necessitam de alimentação eléctrica. São instalados, na rede de acesso, nos armários de rua (SRO) ou juntas (JSO) e os pontos de distribuição (PDO).

#### **4.5.1.4.     Cablagem dentro dos edifícios**

Em todos os edifícios, quer sejam edifícios de apartamentos ou edifícios de escritórios, é necessária cablagem. Estes custos dividem-se em duas componentes:

- Custos verticais: custos associados à instalação de fibra na coluna. Estes custos devem estar incluídos no investimento inicial para a instalação da fibra;
- Custos horizontais: custos associados à ligação de cada apartamento ou escritório. Estes custos vão sendo introduzidos à medida que cada apartamento ou escritório é ligado.

#### **4.5.1.5.     CPE**

A implementação de FTTH/GPON requer a instalação de equipamento de terminação especializado nas residências dos clientes. O equipamento a instalar nas unidades de assinante, CPE, tem a função de disponibilizar os serviços de Voz (VoIP), acesso Internet (HSI) e TV (IPTV). Dependendo dos serviços fornecidos pelos operadores e dos serviços escolhidos pelos assinantes (*single play*, *dual play* ou *triple play*), os custos associados à instalação de equipamentos poderão variar.

### **4.5.2. Formas de diminuir os custos da infra-estrutura passiva**

Os custos associados aos trabalhos de construção civil poderão ser reduzidos através:

- Utilização da infra-estrutura de telecomunicações existente;
- Partilha de infra-estruturas alternativas, de outras entidades (tubagens de gás, rede de esgotos até casa do cliente);
- Utilização de cabos de fibra óptica para instalação aérea (instalação em postes), especialmente em zonas onde não existe rede de condutas;
- Remoção dos cabos de cobre, deixando espaço para os cabos de fibra sem que seja necessário construir novas condutas.

## 4.6. Descrição do cenário analisado

Para se averiguar a viabilidade da implementação de uma nova infra-estrutura de telecomunicações é necessário compreender de que modo os custos de implementação e as receitas interagem com o número de habitações e a sua distribuição, pois cada cenário representa uma área com características diferentes e, consequentemente, com diferentes custos de implementação.

Para se fazer uma análise que permita estabelecer um modelo sobre os custos de implementação de uma nova rede escolheu-se a seguinte cenário urbano:

**Tabela 2 – Caracterização do cenário**  
**Características**

<b>Características</b>	<b>Cenário</b>
<b>Número de potenciais assinantes (homes passed)</b>	15000
<b>Densidade populacional</b>	1000
<b>Taxa de penetração esperada</b>	25%
<b>Número de assinantes</b>	3750
<b>% de SFUs (Single Family Units)</b>	15%
<b>Nº de SFUs na área a ser coberta</b>	2250
<b>% de MDU (Multi-Dwelling Units)</b>	85%
<b>Nº de MDUs na área a ser coberta</b>	456
<b>Nº médio de pisos por edifício</b>	7
<b>Nº médio de UAs por piso</b>	4
<b>Nº médio de UAs por edifício</b>	28
<b>Nº total de edifícios na área a ser coberta</b>	2706

## 4.7. Modelo de penetração dos serviços

Para se conseguir criar um modelo de negócios para a implementação de uma rede de banda larga de próxima geração é necessário analisar as características geográficas e demográficas da zona onde se pretende implementar a mesma, pois estas características influenciam a escolha das soluções de rede possíveis (arquitecturas e tecnologias) para a implementação das infra-estruturas de telecomunicações. A distribuição da população condiciona a instalação das redes de telecomunicações, influenciando a arquitectura que pode ser escolhida, pois nem todas as tecnologias são aplicáveis a todas as regiões. Por esta razão é necessário ter em conta a evolução da taxa de penetração ao longo dos anos.

O modelo de penetração de serviço é descrito pela seguinte fórmula [ref. 7]:

$$Penetração\ Inicial + \frac{(Penetração\ Final - Penetração\ Inicial)}{1 + e^{\alpha + \beta Ano}}$$

em que *Ano* é o ano do projecto e  $\alpha$  e  $\beta$  são as constantes que controlam a velocidade de aumento da curva logística.

No modelo considerado neste trabalho consideraram-se três cenários diferentes (optimista, mediano e pessimista), relativamente à evolução da taxa de penetração.

Para o cenário os cenários analisados utilizaram-se os seguintes valores:

**Tabela 3 – Valores utilizados no cálculo das taxas de penetração**

	<b>Cenário 1</b>	<b>Cenário 2</b>	<b>Cenário 3</b>
<b>Penetração Inicial</b>	10%	10%	10%
<b>Penetração Final</b>	25%	25%	25%
$\alpha$	50	150	500
$\beta$	-1,5	-1,4	-1,3

Assim, a taxas de penetração para cada cenário tomam a forma gráfica ilustrada nas figuras e na tabela seguintes:

**Tabela 4 – Evolução da taxa de penetração**

	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>
<b>Cenário 1</b>	10%	11%	14%	20%	23%	25%	25%	25%	25%	25%	25%
<b>Cenário 2</b>	10%	10%	11%	15%	20%	23%	25%	25%	25%	25%	25%
<b>Cenário 3</b>	10%	10%	10%	11%	14%	19%	22%	24%	25%	25%	25%



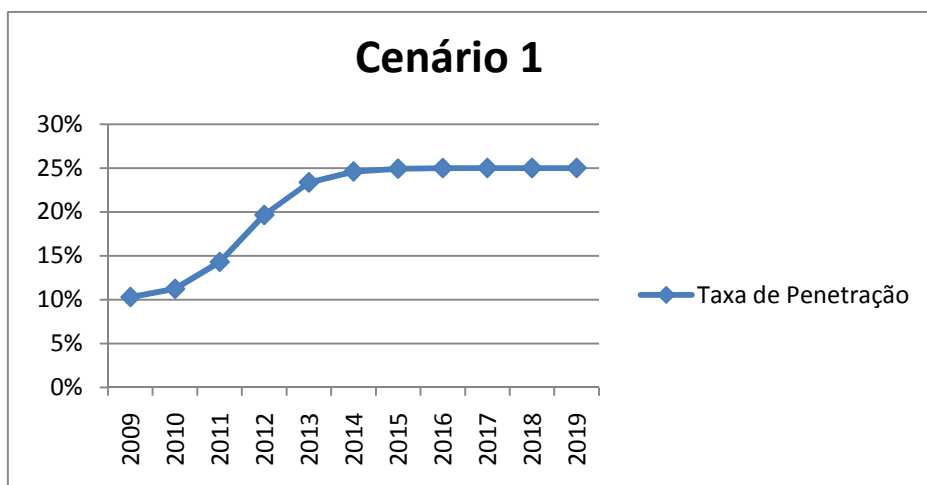


Figura 46 – Evolução da taxa de penetração para o cenário 1

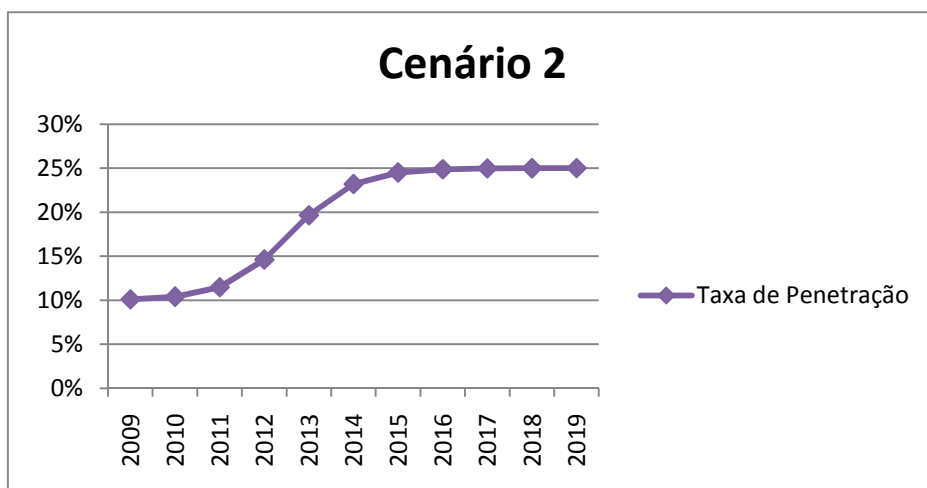


Figura 47 – Evolução da taxa de penetração para o cenário 2

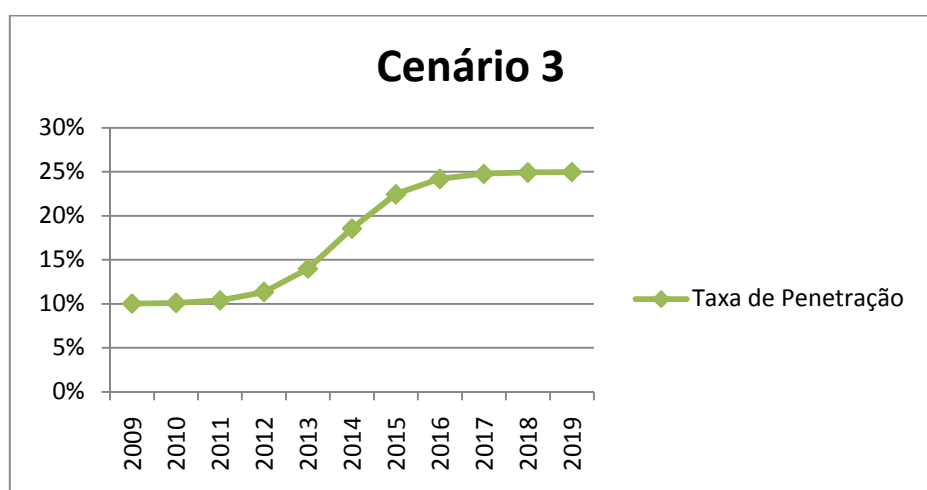


Figura 48 – Evolução da taxa de penetração para o cenário 3

## 4.8. Outros parâmetros

Os demais parâmetros necessários para a construção do modelo de avaliação económica são, sucintamente, os seguintes:

- O projecto em estudo tem uma duração de 11 anos (2009 – 2019).
- Os valores das tarifas no ano inicial do projecto são as seguintes:
  - A tarifa anual do serviço disponibilizado é de 240 €, sofrendo uma erosão de 3%;
  - A tarifa de ligação é de 120€;
- Supõe-se a existência de um único serviço, em que cada utilizador paga mensalmente 20 € (240 € / Ano);
- Os impostos sobre os rendimentos têm uma taxa de 5%;
- A taxa de juro actual é de 5%.

## 4.9. Resultados económicos

A apresentação dos resultados económicos é feita em duas secções: em primeiro lugar apresentam-se os resultados para cada uma das tipologias apresentadas e seguidamente faz-se uma análise comparativa entre os três.

Em cada uma destas secções discutem-se os seguintes aspectos:

- Os investimentos feitos ao longo do período de duração do projecto e a distribuição dos mesmos.
- Receitas geradas no decorrer do projecto.
- O Valor Actual Líquido (VAL, ou NPV – *Net Present Value*), a Taxa Interna de Rendibilidade (TIR, ou IRR – *Internal Rate of Return*) e o período de recuperação do projecto de investimento.
- Visualização de gráficos do *Cash-Flow* e do *Cash-Balance*.

### 4.9.1. Considerações para análise de projectos de investimento

Para se fazer uma análise de viabilidade de um projecto é necessário realizar um estudo que consiga determinar as possibilidades de sucesso económico e financeiro desse projecto. Através deste estudo são efectuadas previsões dos proveitos e dos custos gerados pelo projecto e calculados diversos indicadores de viabilidade, tais como a Taxa Interna de Rentabilidade (TIR), o Valor Actual Líquido (VAL) e o Período de Recuperação do Investimentos ou *Payback Period*.

Um dos métodos de análise da viabilidade de um projecto é o Valor Actual Líquido (VAL). O cálculo do VAL traduz-se no somatório dos *cash-flows* anuais actualizados à taxa escolhida e deduzidos no montante actualizado à mesma taxa dos investimentos. O VAL é o retorno obtido com o projecto de investimento em relação ao investimento do capital. Como qualquer investimento apenas gera *cash-flow* no futuro, é necessário actualizar o valor de cada um desses

*cash-flows* e compará-los com o valor do investimento. No caso do valor do investimento ser inferior ao valor actual dos *cash-flows*, o VAL é positivo o que significa que o projecto apresenta uma rentabilidade positiva.

Taxa Interna de Rentabilidade (TIR) é outro método de análise da viabilidade de um projecto de investimento. O objectivo deste método é encontrar a taxa de actualização que permite igualar o somatório dos *cash-flows* de exportação ao somatório dos investimentos, ou seja, determinar a taxa de actualização para a qual o Valor Actual Líquido (VAL) do projecto é igual a zero.

O período de recuperação do investimento é outro dos métodos de avaliação de um projecto. É o período que medeia entre o ano de arranque do projecto e o instante em que o *cash balance* passa para valores positivos.

## 4.10. Tipologias de rede

O cenário analisado corresponde a uma rede FTTH, utilizando tecnologia GPON. Levar fibra óptica até casa utilizando *Gigabit Passive Optical Network* (GPON) envolve a instalação de fibra óptica directamente até casa do cliente. Cada fibra é capaz de fornecer, teoricamente, velocidade de download até 2,5 Gbps. No entanto, esta largura de banda é partilhada por mais do que um utilizador.

Este estudo analisa os resultados de um modelo de investimentos para diferentes tipologias. A escolha destas tipologias foi influenciada por aquilo que se imagina ser o contexto do projecto FTTx/GPON da Portugal Telecom. Para cada solução tecnológica são explorados os três cenários apresentados anteriormente (na secção 4.7), que apresentam uma evolução diferente da taxa de penetração aos serviços.

Analísaram-se três tipologias diferentes, que estão representadas na figura seguinte:

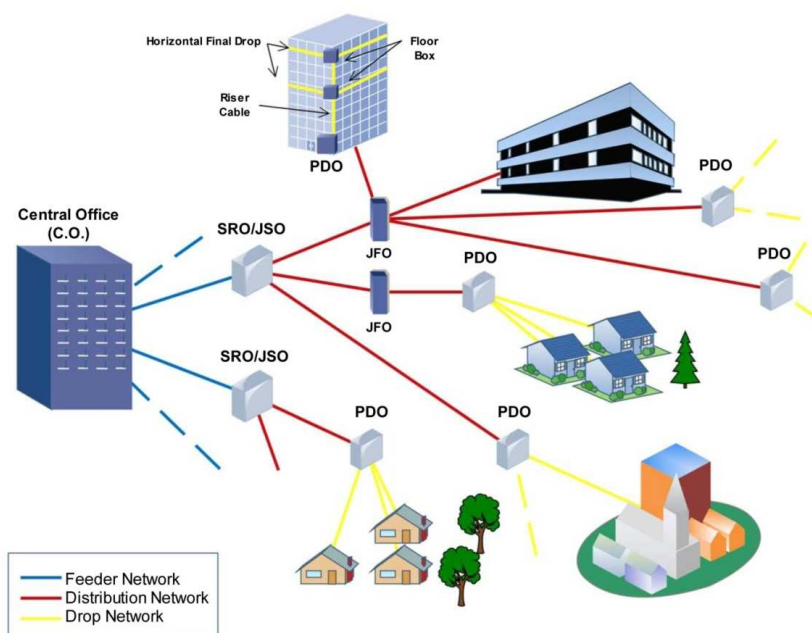


Figura 49 – Rede GPON

Na figura anterior pode-se distinguir os seguintes elementos:

- **Central Office (C.O.):** é a central de onde se encontram os OLTs (*Optical Line Termination*) e os ODFs (*Optical Distribution Frame*), equipamentos activos do início da PON. É no C.O. que é colocado o primeiro andar de *splitting*, através da utilização de *splitters* 1x2.
- **Feeder Network (Rede Primária):** é constituída pelos cabos de fibra óptica que ligam o C.O. ao armário de rua (SRO) ou juntas (JSO) onde se encontra o segundo andar de *splitting*. Estes cabos são constituídos por 288 fibras ópticas, das quais 48 estão reservadas.
- **SRO (Sub-Repartidores Óptico):** são os armários de rua onde são colocados os *splitters* do segundo andar de *splitting*, na tipologia A.
- **JSO (Junta de *Splitting* Óptico):** são juntas de ligação onde são colocados os *splitters* do segundo andar de *splitting*, na tipologia B.
- **Distribution Network (Rede de Distribuição):** é constituída pelos cabos de fibra óptica que ligam o SRO/JSO ao PDO (Ponto de Distribuição Óptica).
- **JFO (Junta de Fibra Óptica):** são juntas de ligação, sem *splitters*. Estão situadas na rede de distribuição e permitem ligar os cabos provenientes do SRO/JSO a cabos com menor número de fibras, através de *splicing*.
- **PDO (Ponto de Distribuição Óptica):** são os armários onde são colocados os *splitters* do terceiro andar de *splitting*, quando este é necessário.
- **Drop Network (Rede de Cliente):** é constituída pelos cabos de fibra óptica que ligam o PDO às residências dos assinantes. Estes cabos podem ser individuais (constituídos por uma fibra para cada assinante) ou múltiplos (*raiser*) que transportam os cabos pela coluna montante do edifício, e de onde vão ser extraídas as fibras de cada assinante.

## 4.11. Tipologia A

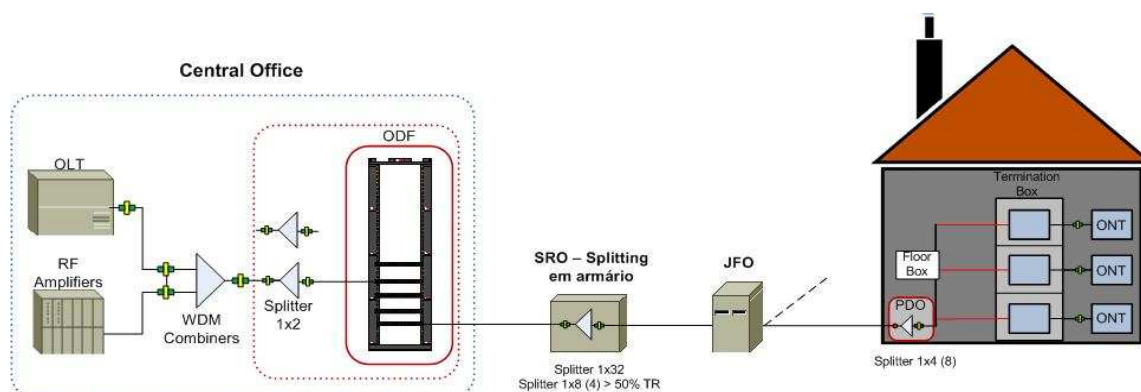
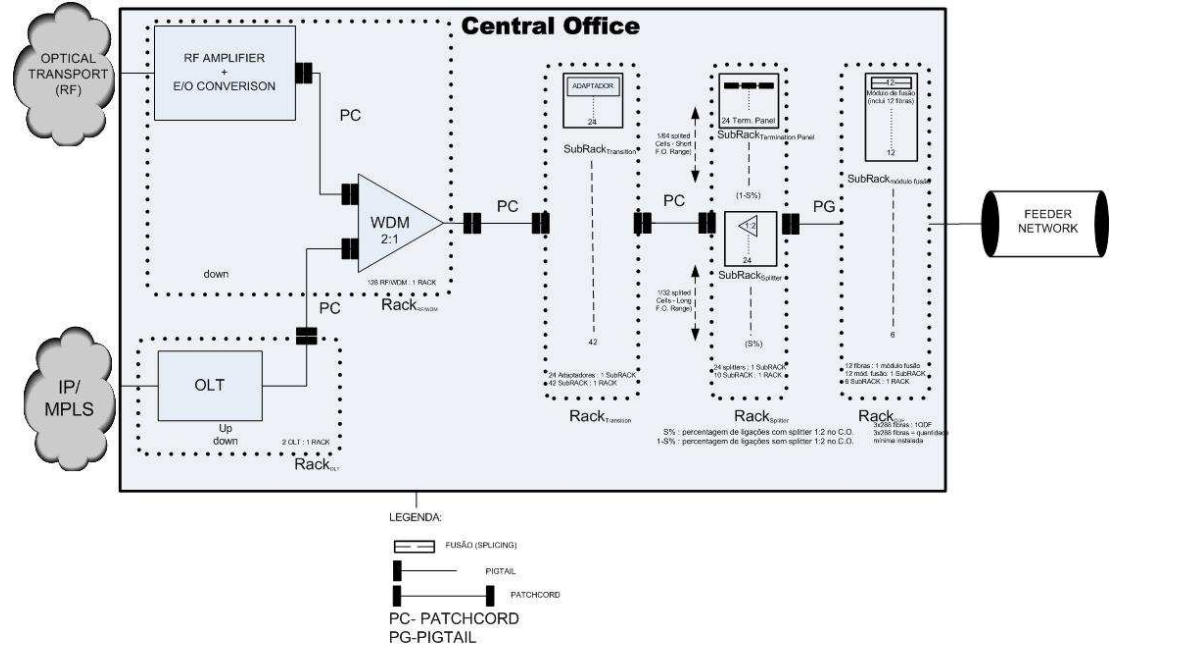


Figura 50 – Tipologia A



No *Central Office* existe uma correlação entre todos os equipamentos. É necessário um OLT para terminar cada ligação de fibra óptica. Cada OLT é constituído por 16 cartas, e cada carta é constituída por 4 portos. Considera-se que a cada porto OLT estão ligados 64 assinantes. Também são necessários equipamentos como amplificadores RF, WDM *Combiners* e ODFs. O número de portos OLT é igual ao número de portos RF. Os sinais que saem destes equipamentos vão ser combinados num WDM *Combiner*, a partir do qual são enviados através da mesma fibra óptica, utilizando comprimentos de onda diferentes. Cada WDM *Combiner* está ligado a um adaptador existente nos Módulos de Passagem, que são equipamentos constituídos por 24 adaptadores que funcionam como um ponto de passagem entre os WDM *Combiners* e os *splitters* 1:2. Neste cenário considera-se que todos os portos OLT vão ser ligados a *splitter* 1:2. A ligação entre as fibras do *Central Office* e as fibras dos cabos da *feeder network* é feita no ODF, que é constituído por Módulos de Fusão, onde todas as fibras vão ser fundidas.

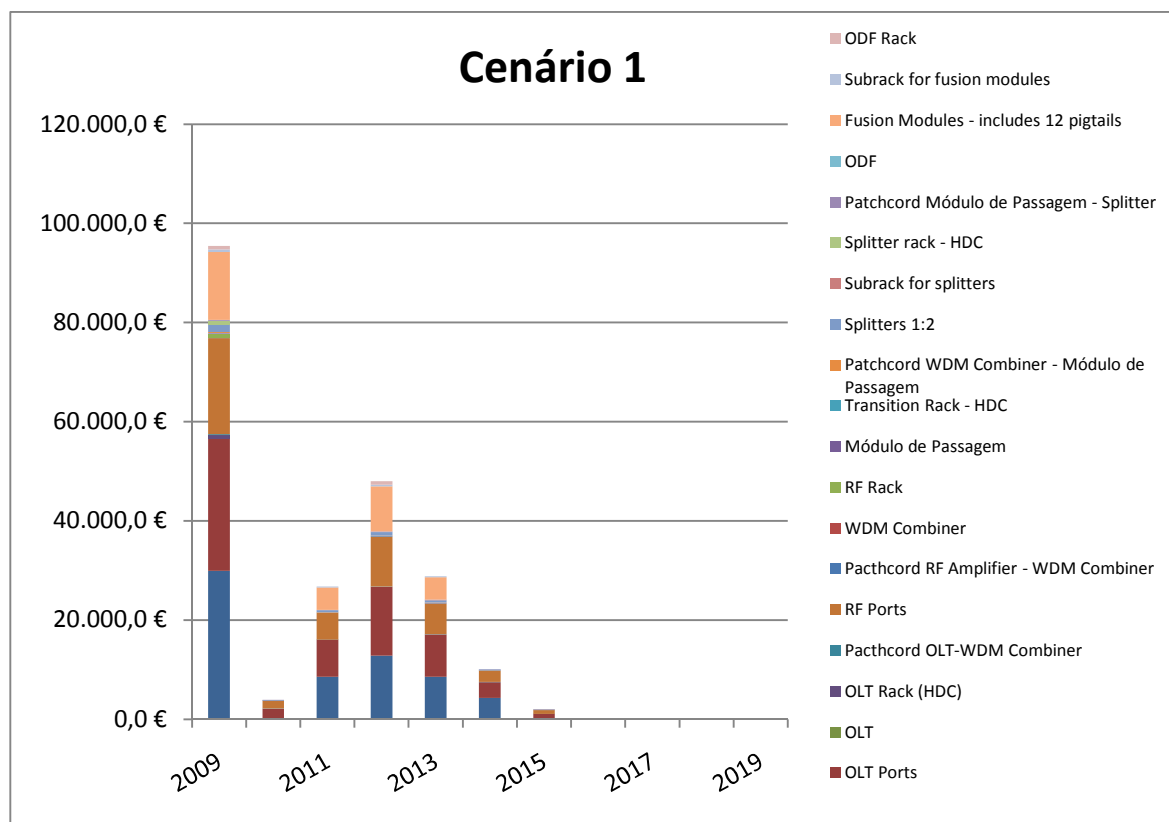


Figura 52 – Investimentos C.O. para o cenário 1

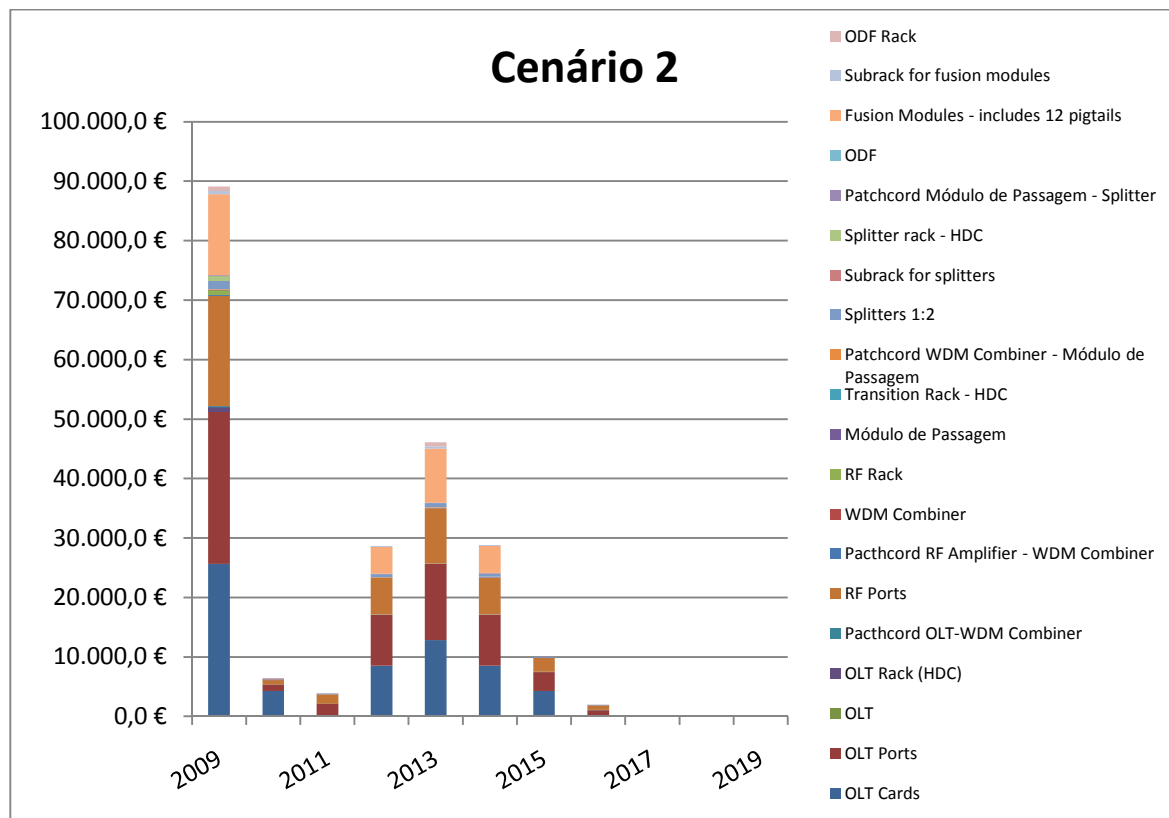
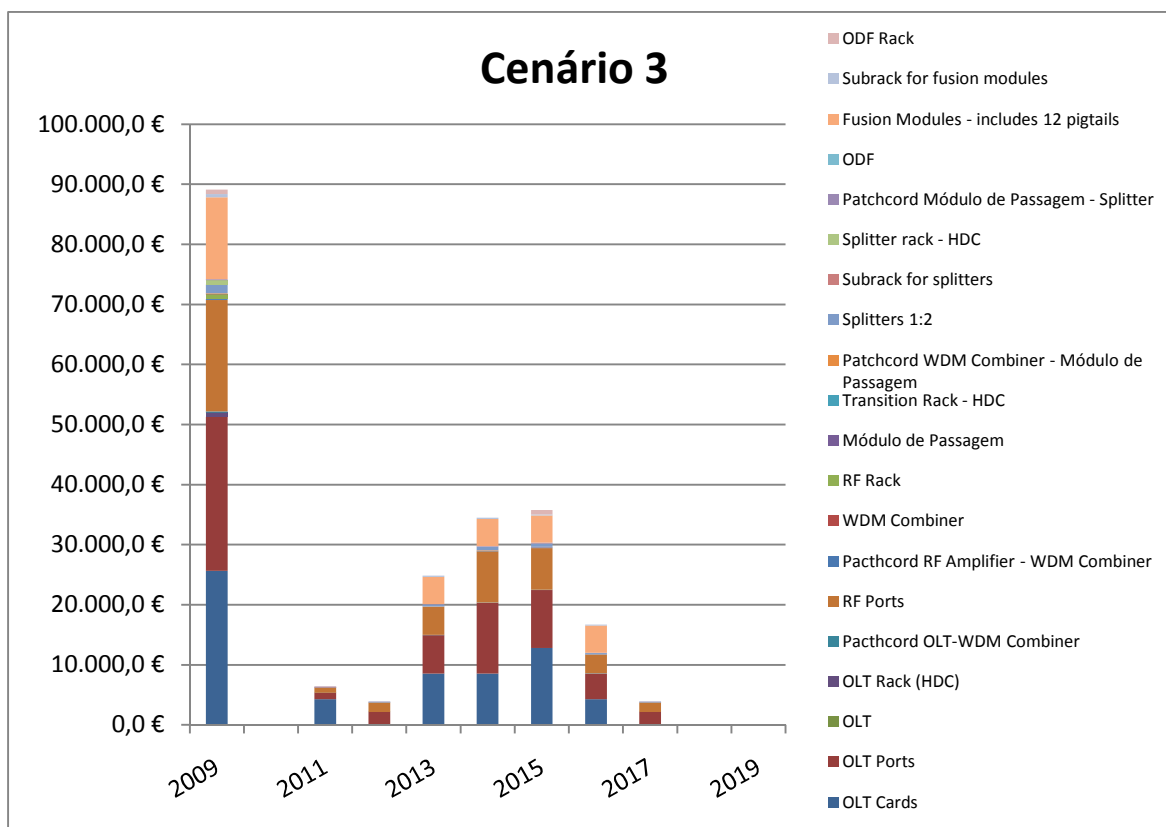


Figura 53 – Investimentos C.O para o cenário 2



**Figura 54 – Investimentos C.O. para o cenário 3**

Como se pode observar nos gráficos anteriores, grande parte dos custos estão associados aos portos OLT, aos portos RF e aos módulos de fusão, correspondendo, respectivamente, a 42%, 30% e 21% do investimento efectuado. Verifica-se que cerca de 45% dos investimentos são feitos no ano inicial do projecto, pois é necessário instalar todos os equipamentos necessários para servir um pequeno número de assinantes. Com o aumento da adesão dos assinantes aos serviços a capacidade dos equipamentos instalados vai ser atingida e então, será necessário realizar novos investimentos. A principal diferença entre os três cenários é nos anos em que esses novos investimentos são feitos. No cenário 1 a taxa de penetração tem uma evolução mais rápida que nos outros cenários, fazendo com que seja necessário investir em novos equipamentos mais cedo. Nos outros cenários a taxa de penetração tem uma evolução mais lenta e, como tal, os novos investimentos serão feitos mais tarde.

Na figura seguinte podem-se observar os investimentos realizados neste segmento da rede, para os 3 cenários, ao longo da duração do projecto.

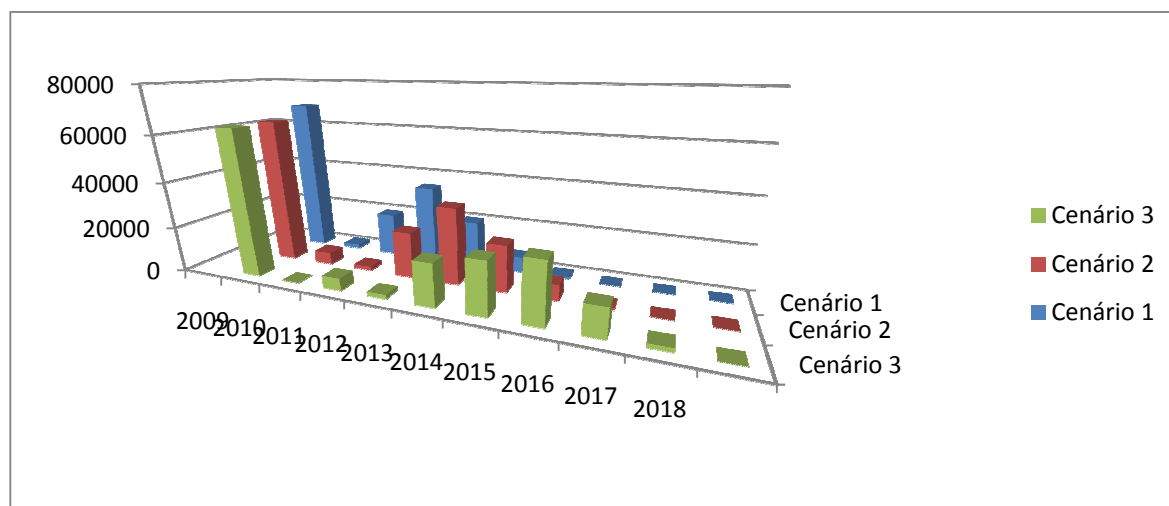


Figura 55 – Investimentos no Central Office

#### 4.11.2. Feeder Network

A *Feeder Network* (rede primária) é constituída por cabos de 288 fibras ópticas (48 são reservadas), numa topologia em árvore, ligando o *Central Office* aos armários de rua (SRO). O segundo andar de *splitting* é colocado nos armários de rua (com capacidade para 288 fibras), com as ligações previamente feitas. O tipo de *splitters* colocados nos armários depende da taxa de adesão:

- Se a taxa de adesão for menor que 50%, são instalados *splitters* 1x32;
- Quando a taxa de adesão for igual ou superior a 50% são instalados *splitters* 1x8 ou 1x4.

No PDO é colocado outro *splitter*, complementar ao do SRO:

- Se o número de UAs total de um edifício for igual ou inferior a 27 UAs, é colocado um *splitter* 1:8 no SRO e um *splitter* 1:4 no PDO;
- Se o número de UAs total de um edifício for superior a 27 UAs, é colocado um *splitter* 1:4 no SRO e um *splitter* 1:8 no PDO.

No cenário analisado o número de UAs dos edifícios é superior a 27, pelo que foram utilizados *splitters* 1:4 no SRO.

Os armários de rua e os *splitters* vão sendo instalados à medida que a taxa de adesão vai aumentando (*pay-as-you-grow*). Cada armário de rua vai permitir servir células com 576 UAs (576 casas passadas).

Para cada cenário determinaram-se os investimentos necessários para cada elemento.



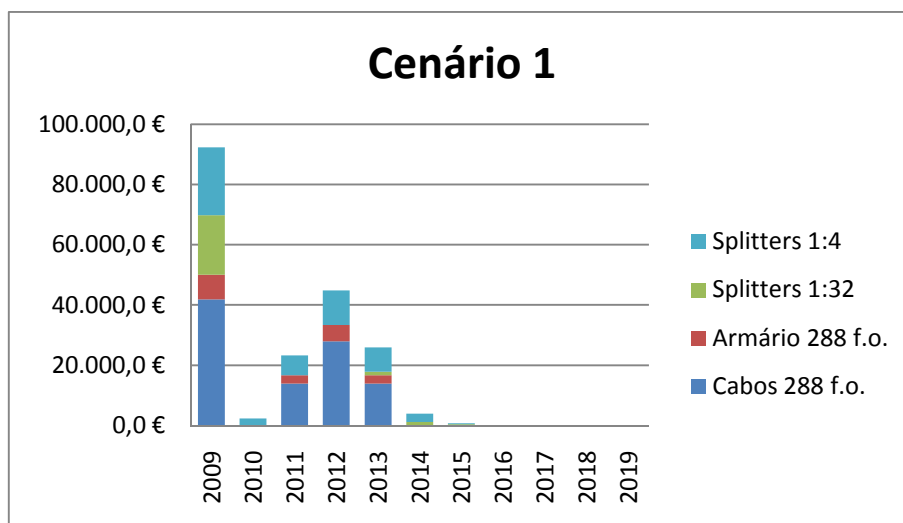


Figura 56 – Investimentos *feeder network* para o cenário 1

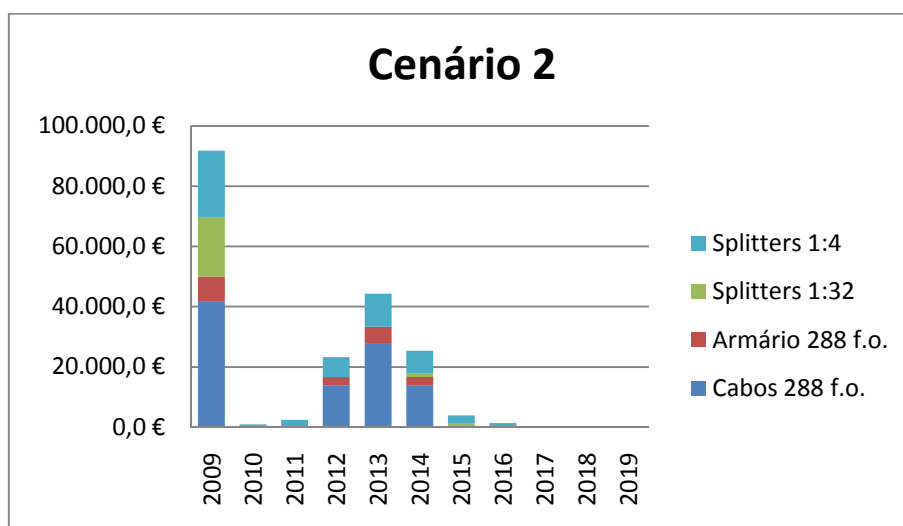


Figura 57 – Investimentos *feeder network* para o cenário 2

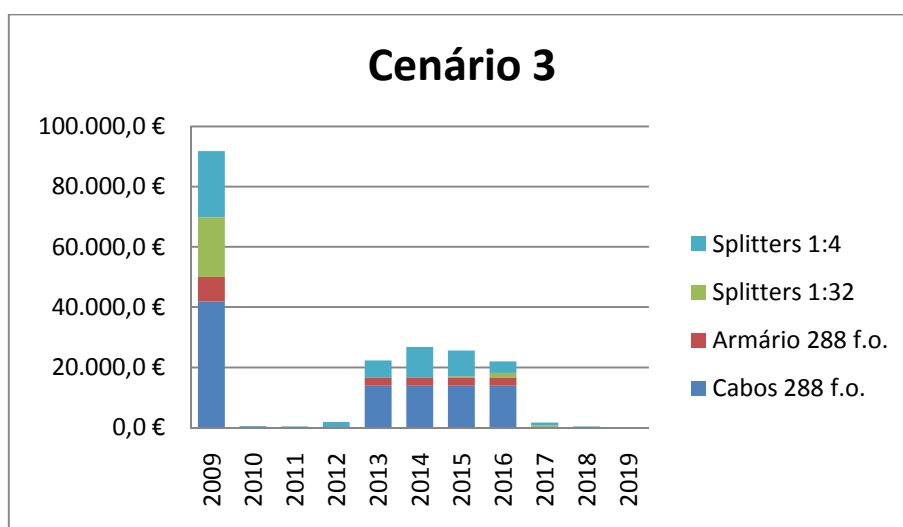


Figura 58 – Investimentos *feeder network* cenário 3

Como se pode observar nos gráficos anteriores, grande parte dos custos (cerca de 50%) estão associados aos cabos de fibra óptica. Relativamente aos *splitters* 1:32, é feito um maior investimento no primeiro ano do projecto, sendo necessário fazer novamente um pequeno investimento, quando a taxa de penetração atinge o valor de saturação. Tal como se verificou no segmento de rede analisado anteriormente (*Central Office*), grande parte dos investimentos são feitos no ano inicial do projecto (47%), pois é necessário instalar todos os equipamentos necessários apesar de apenas servir um pequeno número de assinantes. À medida que o número de assinantes a aderir aos serviços vai aumentando a capacidade dos equipamentos instalados vai ser atingida, e será necessário realizar novos investimentos. A principal diferença entre os três cenários é nos anos em que esses novos investimentos são feitos. No cenário 1 a taxa de penetração tem uma evolução mais rápida que nos outros cenários, fazendo com que seja necessário investir em novos equipamentos mais cedo. Nos outros cenários a taxa de penetração tem uma evolução mais lenta e, como tal, os novos investimentos serão feitos mais tarde.

Na figura seguinte podem-se observar os investimentos realizados neste segmento da rede, para os 3 cenários, ao longo da duração do projecto.

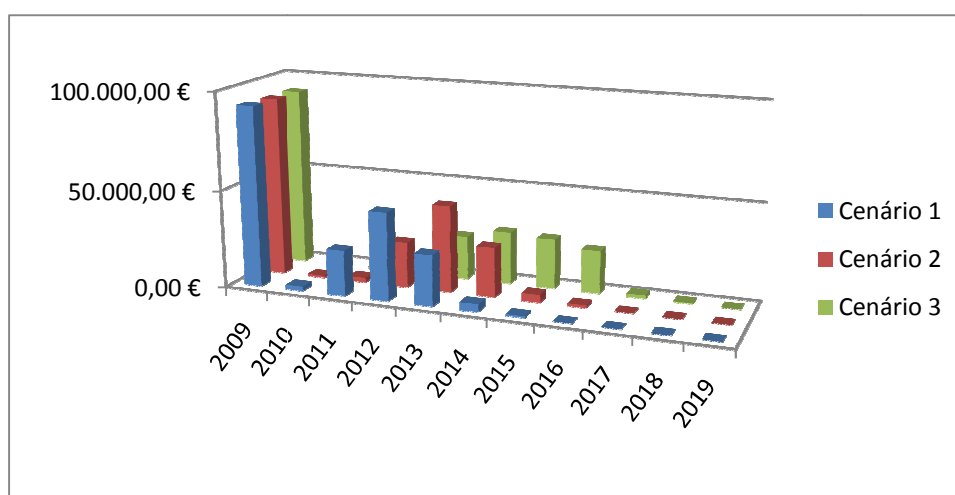


Figura 59 – Investimentos feeder network

#### 4.11.3. Distribution Network

A *Distribution Network* liga os SROs aos PDOs. Neste segmento da rede são utilizados cabos de 48 fibras ópticas. Nas JFOs, os cabos provenientes dos SROs vão ser ligados a um maior número de cabos, permitindo uma maior capilaridade da rede.

Para cada cenário determinaram-se os investimentos necessários para cada elemento.

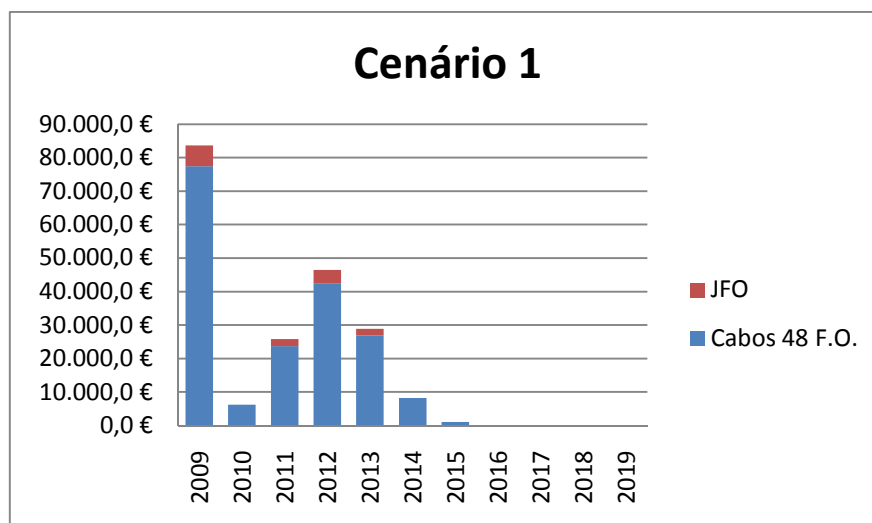


Figura 60 – Investimentos *distribution network* para o cenário 1

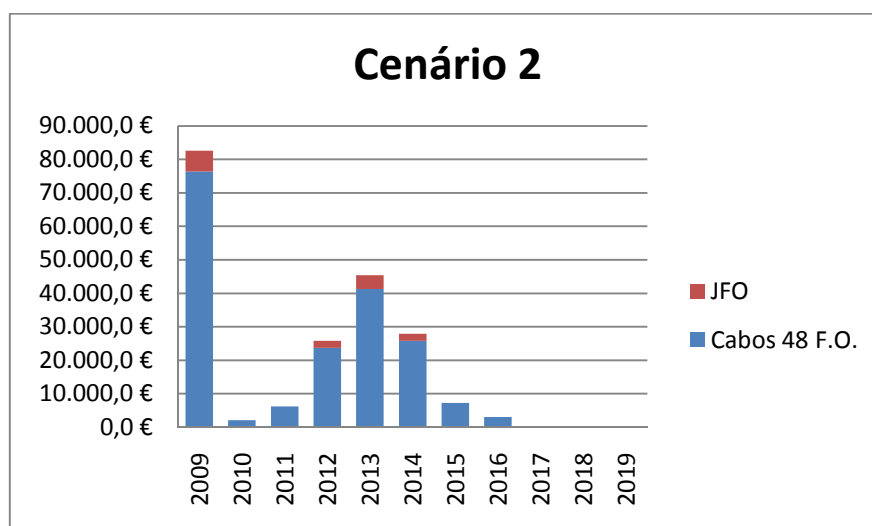


Figura 61 – Investimentos *distribution network* para o cenário 2

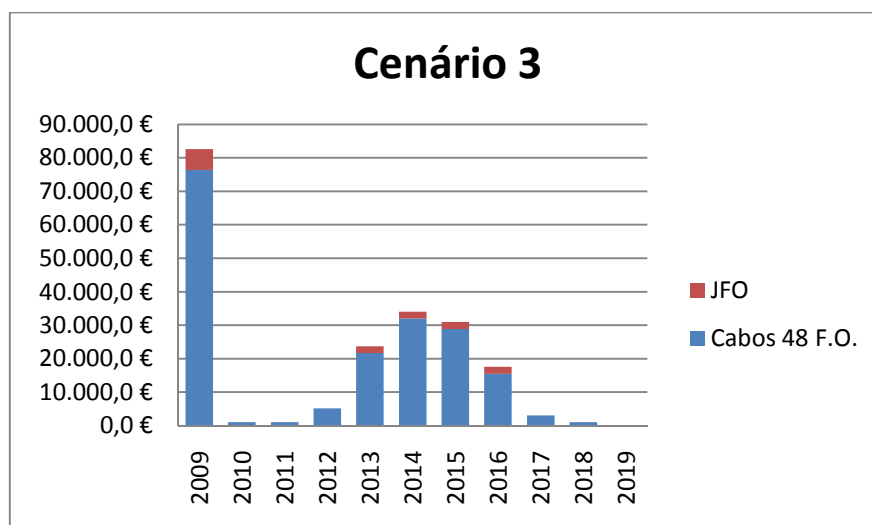


Figura 62 – Investimentos *distribution network* para o cenário 3

Como se pode observar nos gráficos anteriores, grande parte dos custos (cerca de 93%) estão associados aos cabos de fibra óptica. Verifica-se que é no ano inicial do projecto que grande parte dos investimentos são feitos (42%), pois é necessário instalar todos os equipamentos necessários apesar de apenas servir um pequeno número de assinantes. Com o aumento da adesão dos assinantes aos serviços a capacidade dos equipamentos instalados vai ser atingida, e será necessário realizar novos investimentos. A principal diferença entre os três cenários é nos anos em que esses novos investimentos são feitos. No cenário 1 a taxa de penetração tem uma evolução mais rápida que nos outros cenários, fazendo com que seja necessário investir em novos equipamentos mais cedo. Nos outros cenários a taxa de penetração tem uma evolução mais lenta e, como tal, os novos investimentos serão feitos mais tarde.

Na figura seguinte podem-se observar os investimentos realizados neste segmento da rede, para os 3 cenários, ao longo da duração do projecto.

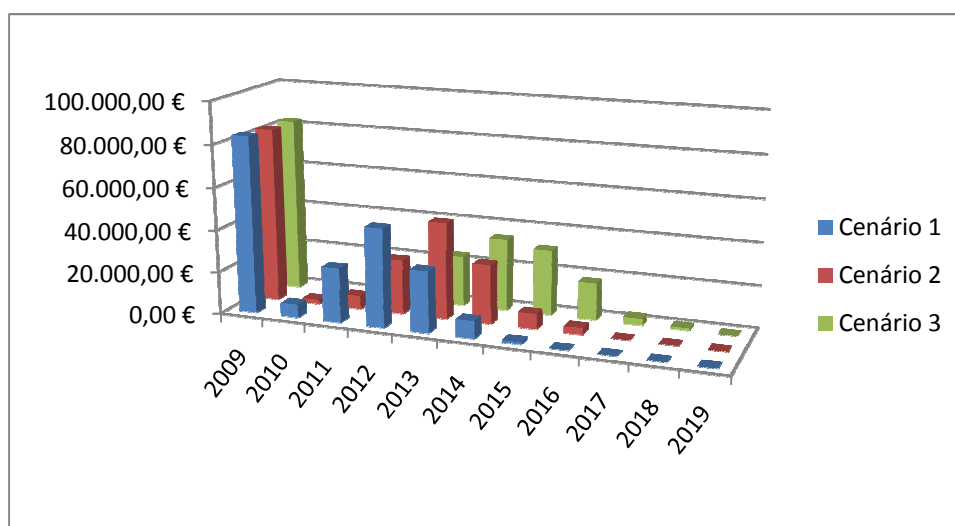


Figura 63 – Investimentos *distribution network*

#### 4.11.4. *Drop Network*

Neste segmento da rede é necessário considerar todos os elementos necessários para servir os assinantes, desde o último ponto de distribuição (PDO) até ao equipamento do cliente (CPE).

Para tal, foi necessário analisar o tipo de residências que é necessário ligar à rede. Neste cenário considerou-se que 15% são SFUs (moradias) e 85% das residências são MDUs (edifícios residências). No caso dos MDUs é necessário ter em consideração o número médio de UAs por edifício e o número médio de UAs por piso, que neste cenário é 7 pisos por edifício e 4 UAs por piso.

Nos pontos de distribuição óptica (PDO) utilizam-se armários de 24 fibras ópticas, para instalação exterior, conectorizados. É nos PDOs que são instalados os *splitters* do segundo andar de *splitting*:

- Se o número de UAs a servir for inferior a 27 UAs, são instalados *splitters* 1x4;
- Se o número de UAs a servir for igual ou superior a 27 UAs, são instalados *splitters* 1x8.

No cenário analisado o número de UAs dos edifícios é superior a 27, pelo que foram utilizados *splitters* 1:8 no PDO.

No caso dos MDUs é preciso ter em conta os investimentos associados à instalação de cabos de fibra óptica, pois é necessário instalar cabos na coluna montante do edifício (para levar fibra a todos os pisos) e instalar cabos para ligar cada UA. Para tal, foram analisados os investimentos a realizar em cabos *raiser* de 12 e 24 fibras ópticas, *floor boxes* de 4 fibras ópticas e equipamento do cliente (CPE).

No caso dos SFUs é necessário ter em conta os investimentos associados à ligação do PDO ao SFU e equipamento do cliente (CPE)

Para cada cenário determinaram-se os investimentos necessários para cada elemento.

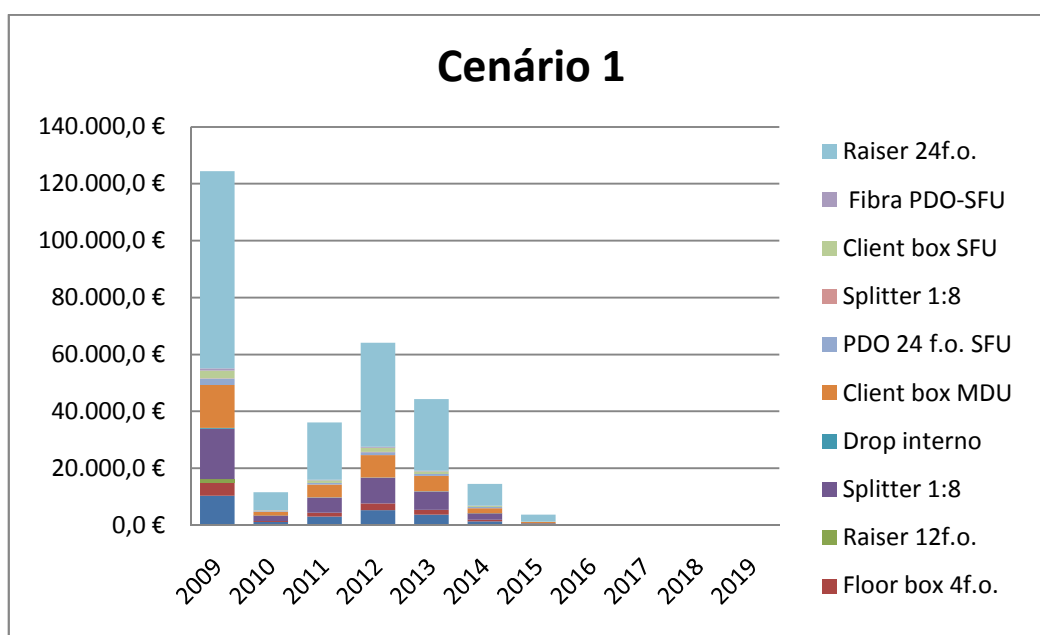


Figura 64 – Investimentos *drop network* para o cenário 1

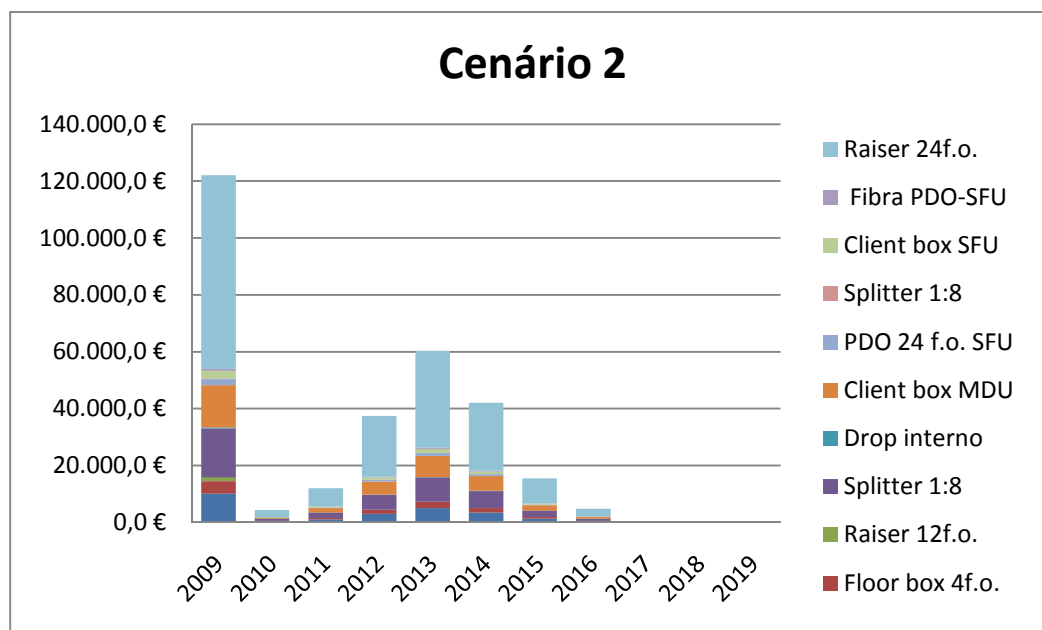


Figura 65 – Investimentos *drop network* para o cenário 2

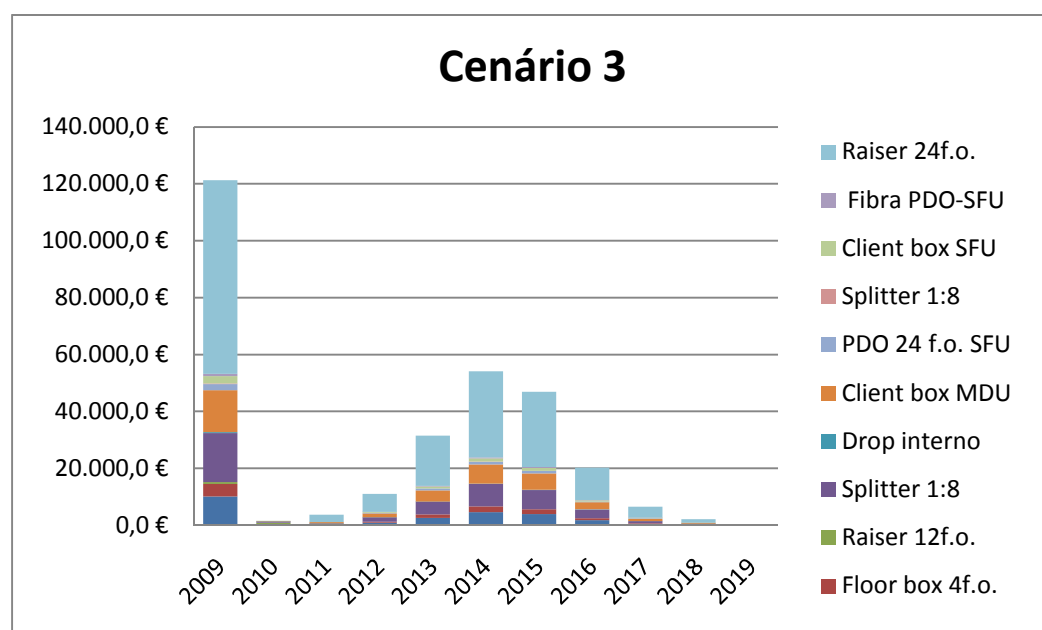


Figura 66 – Investimentos *drop network* para o cenário 3

Nos gráficos anteriores pode observar-se que grande parte dos investimentos (cerca de 56%) estão associados aos cabos de fibra óptica necessários para ligar todos os pisos dos edifícios (*raisers*). Grande parte dos investimentos (41%) são feitos no ano inicial do projecto, uma vez que é necessário instalar todos os equipamentos indispensáveis apesar de apenas servir um pequeno número de UAs. Com o aumento da adesão dos assinantes aos serviços a capacidade dos equipamentos instalados vai ser atingida, e será necessário realizar novos investimentos. Tal como se verificou nos segmentos de rede anteriores, a principal diferença entre os três cenários é nos anos em que esses novos investimentos são feitos. No cenário 1 a taxa de penetração tem

uma evolução mais rápida que nos outros cenários, fazendo com que seja necessário investir em novos equipamentos mais cedo. Nos outros cenários a taxa de penetração tem uma evolução mais lenta e, como tal, os novos investimentos serão feitos mais tarde.

Na figura seguinte podem observar-se os investimentos realizados neste segmento da rede, para os 3 cenários, ao longo da duração do projecto.

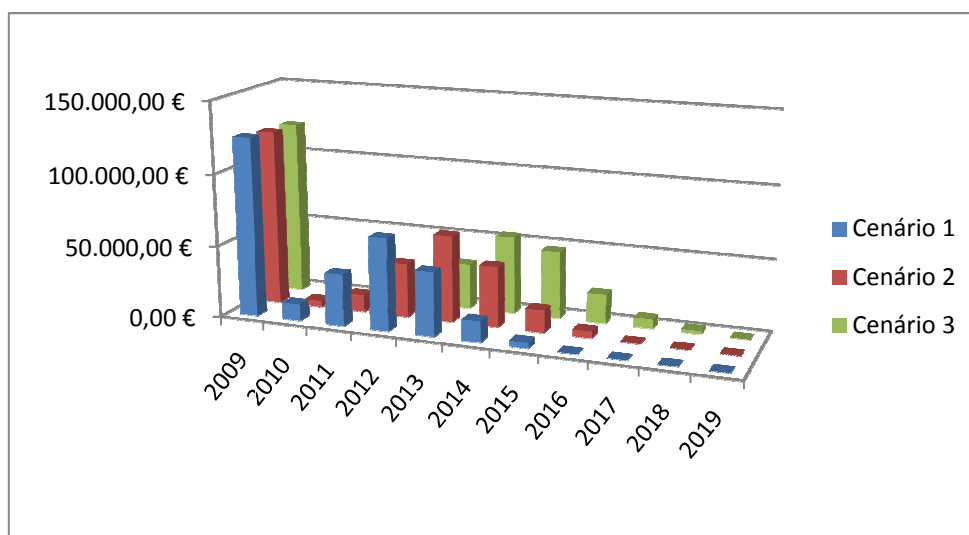


Figura 67 – Investimentos drop network

#### 4.11.5. Visão global dos investimentos

Os investimentos realizados, para esta tipologia, ao longo do período de duração do projecto encontram-se ilustrados na figura seguinte:

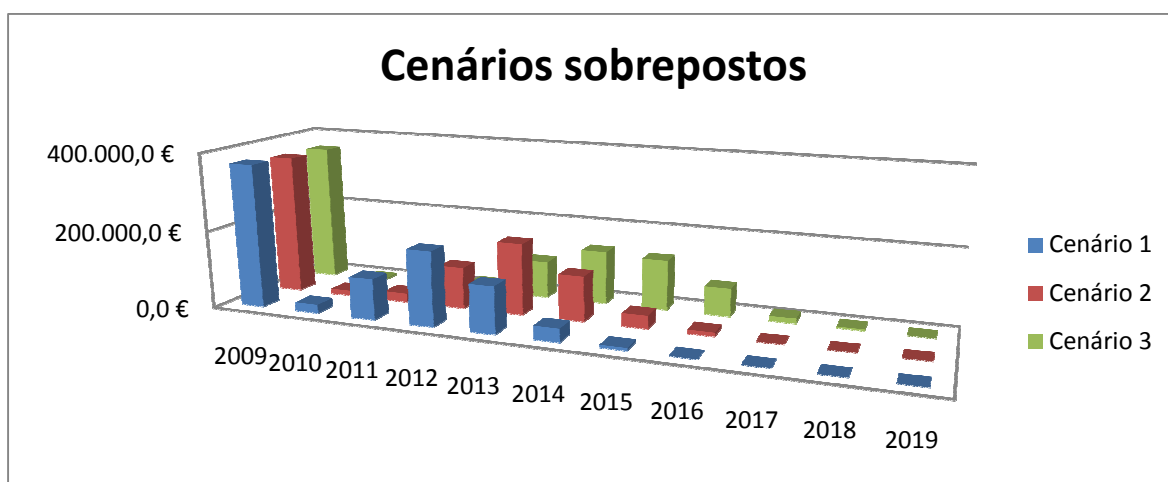


Figura 68 – Investimentos globais Tipologia A

Esta figura mostra-nos que os grandes investimentos (cerca de 43%) são feitos no ano inicial do projecto, uma vez que é necessário instalar todos os equipamentos necessários apesar de servir apenas um pequeno número de assinantes. Os equipamentos que são instalados logo no primeiro ano do projecto permitem, no entanto servir um grande número de assinantes. Com o aumento da adesão dos assinantes aos serviços a capacidade desses equipamentos vai ser atingida, e será necessário realizar novos investimentos. Este facto pode ser observado pelo aumento dos investimentos entre 2011 e 2016. A principal diferença entre os três cenários é nos anos em que esses novos investimentos são feitos. No cenário 1 a taxa de penetração tem uma evolução mais rápida que nos outros cenários, fazendo com que seja necessário investir em novos equipamentos mais cedo. Nos outros cenários a taxa de penetração tem uma evolução mais lenta e, como tal, os novos investimentos serão feitos mais tarde.

Nas figuras seguintes está representada a partição dos investimentos por segmento de rede, para cada cenário:

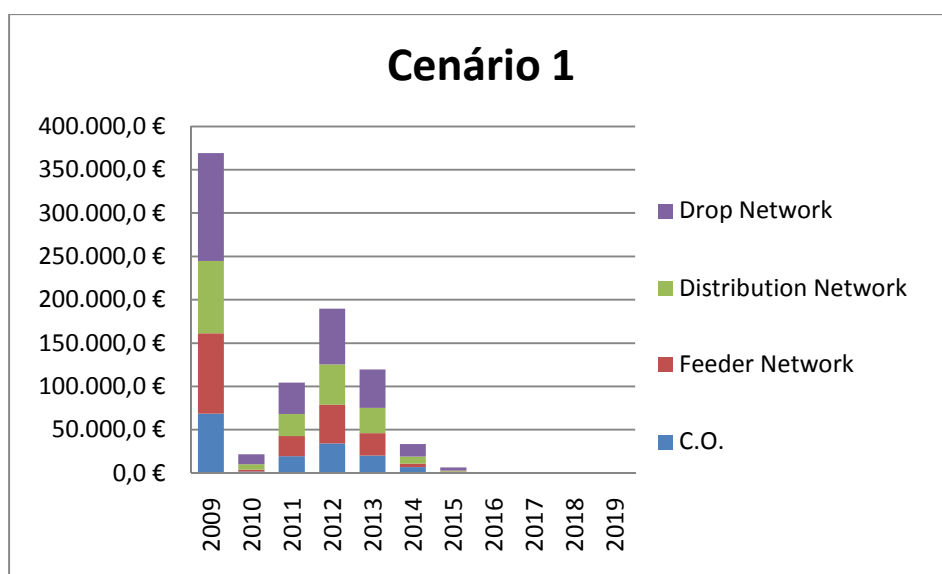


Figura 69 – Investimentos globais para o cenário 1



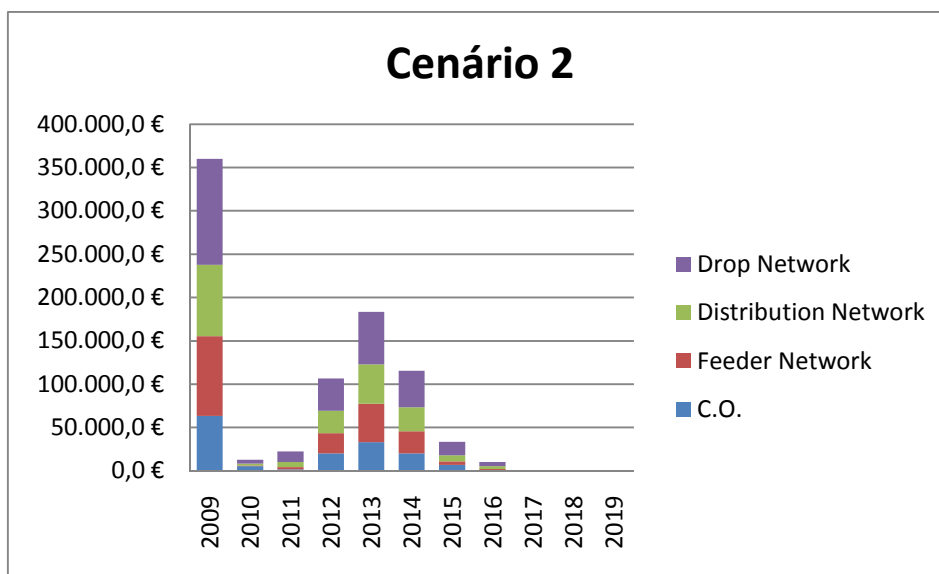


Figura 70 – Investimentos globais para o cenário 2

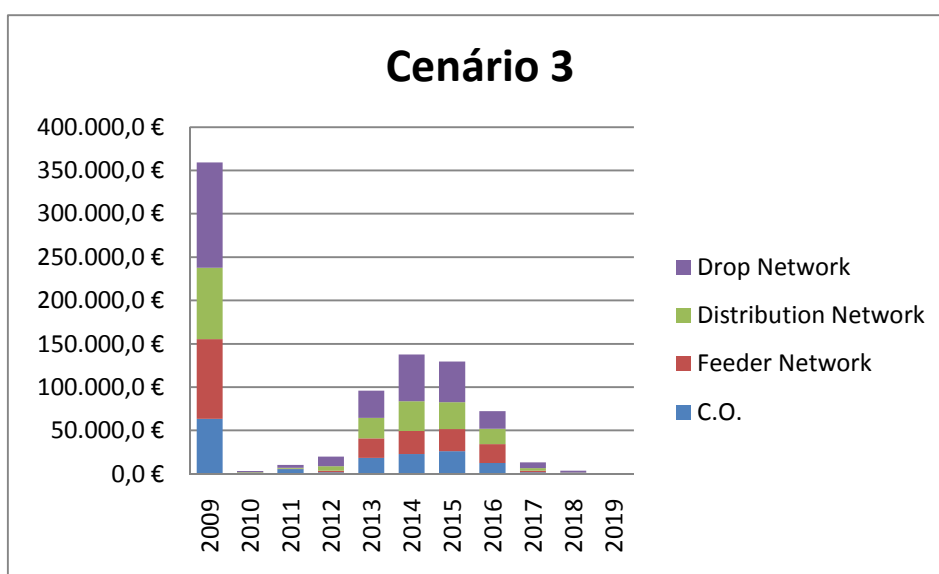


Figura 71 – Investimentos globais para o cenário 3

Nas figuras anteriores observa-se que grande parte dos investimentos efectuados (cerca de 27%) foi no último segmento da rede, ou seja, na *drop network*. Há, no entanto, um factor que influencia os reduzidos investimentos nos outros segmentos da rede que é o facto de não se ter considerado os investimentos em construção civil (abertura de valas, construção de condutas, mão de obra, ...) que levaria a um aumento considerável nos investimentos necessário na *feeder network* e na *distribution network*.

#### 4.11.6. Receitas

Para o cálculo das receitas é necessário ter em consideração o tamanho do mercado, isto é, o número de potenciais assinantes, e a taxa de penetração do serviço. Ao multiplicar este valor pela tarifa anual obtêm-se as receitas anuais.

Tal como foi explicado anteriormente, considerou-se o valor da tarifa no ano inicial do projecto é de 240 €, sofrendo, em cada ano, uma erosão de 3%.

A figura seguinte apresenta as receitas geradas ao longo do período de duração do projecto, para os 3 cenários:

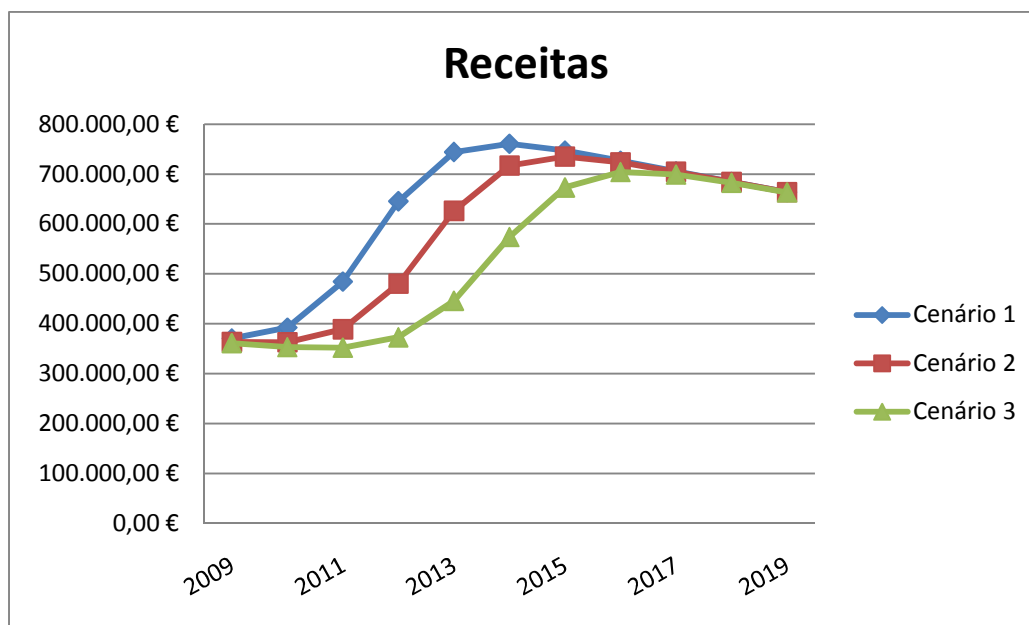


Figura 72 – Receitas geradas

Nos três cenários verifica-se que as receitas geradas vão crescendo, devido ao surgimento de novos clientes, até que, a partir de determinado ano, passa a haver uma quebra, devido à estagnação do crescimento do número de clientes (saturação) e à redução do preço do serviço. A principal diferença entre os três cenários é o ano em que essa quebra ocorre. No cenário 1 a taxa de penetração tem uma evolução mais rápida que nos outros cenários, e, como tal, a saturação é atingida mais cedo. No cenário 3, o cenário mais pessimista, a taxa de penetração tem uma evolução mais lenta e, como tal, a taxa de penetração de saturação (25%) é atingida mais tarde. Outra diferença nestes cenários é o valor máximo das receitas geradas. Como se pode observar, no cenário 1, o mais optimista, o valor máximo é superior ao dos outros cenários. Um aspecto importante a ter em conta quando se pretende calcular as receitas geradas é conhecer o investimento por utilizador servido, para se conhecer a margem de lucro obtida. Essa margem pode ser observada nas figuras seguintes:

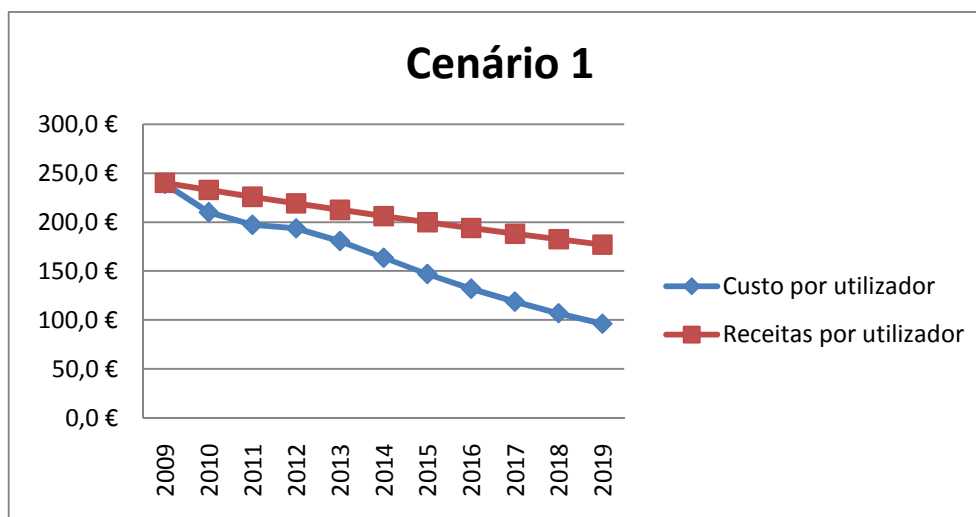


Figura 73 – Comparação entre receitas e custo por utilizador para o cenário 1

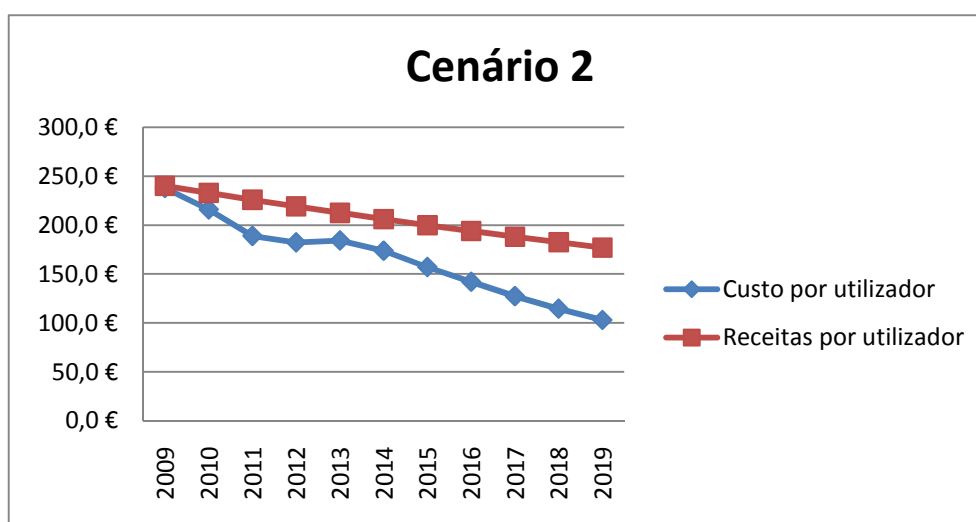


Figura 74 - Comparação entre receitas e custo por utilizador para o cenário 2

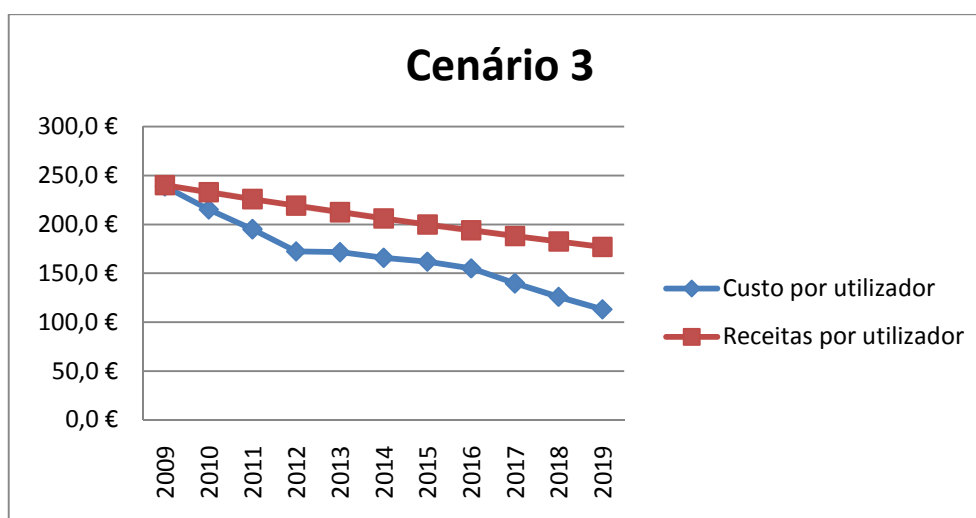


Figura 75 - Comparação entre receitas e custo por utilizador para o cenário 3

Como esperado, com o aumento do número de utilizadores a aderir aos serviços, o custo por utilizador diminui. Inicialmente a margem de lucro obtida é semelhante para os 3 cenários, mas, ao longo do período de duração do projecto, essa margem vai ser superior no cenário 1, em relação aos outros cenários. Isto acontece porque no cenário 1 a taxa de penetração tem uma evolução mais rápida que nos outros cenários, e, como tal, os utilizadores vão aderir mais cedo, fazendo com que o custo por utilizador diminua mais cedo. Nos outros cenários a taxa de penetração tem uma evolução mais lenta e a diminuição do custo por utilizador será mais lenta também. No entanto, para os três cenários, a diminuição das tarifas anuais é igual, diminuindo a uma taxa constante de 3% por ano. Isto justifica o facto de o cenário 1 obter um valor máximo de receitas mais elevado do que os outros cenários.

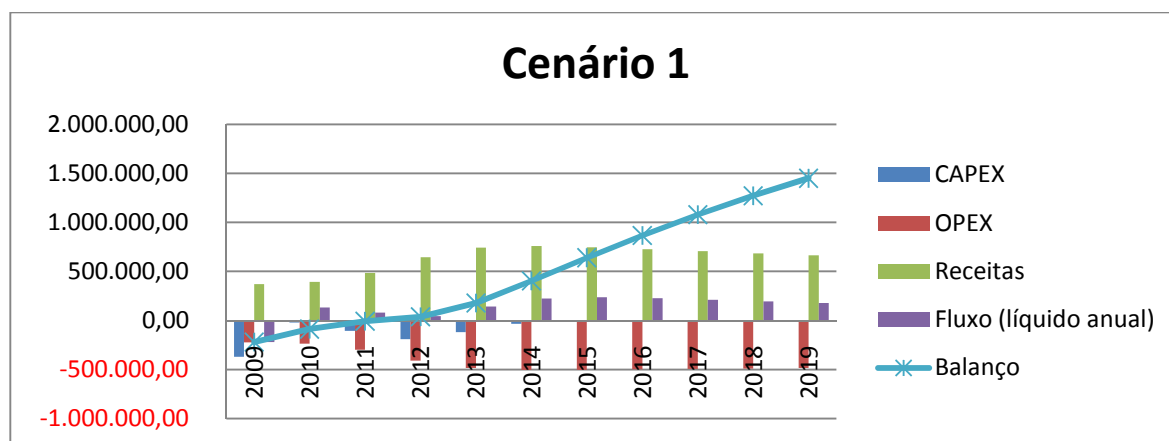
#### 4.11.7. Resultados económicos mais relevantes

Na tabela seguinte são apresentados os resultados económicos mais relevantes para a avaliação do projecto: TIR, VAL e Período de Recuperação.

**Tabela 5 – Resultados económicos**

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
<b>VAL</b>	975.582,18 €	842.068,89 €	702.857,62 €
<b>TIR</b>	55%	54%	54%
<b>Período de Recuperação</b>	3 anos	2 anos	2 anos

Nas figuras seguintes são apresenta alguns resultados económicos que permitem analisar melhor a viabilidade económica do projecto:



**Figura 76 – Resultados económicos para o cenário 1**

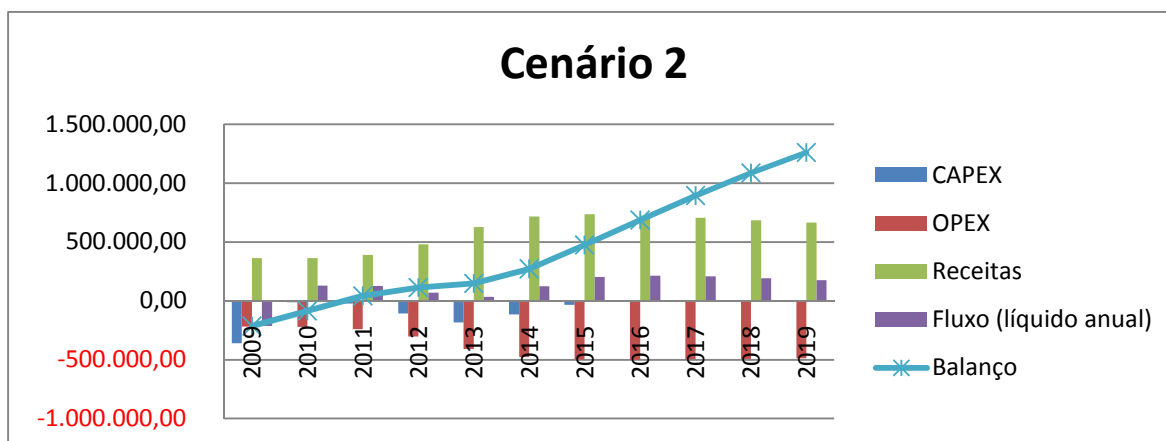


Figura 77 – Resultados económicos para o cenário 2

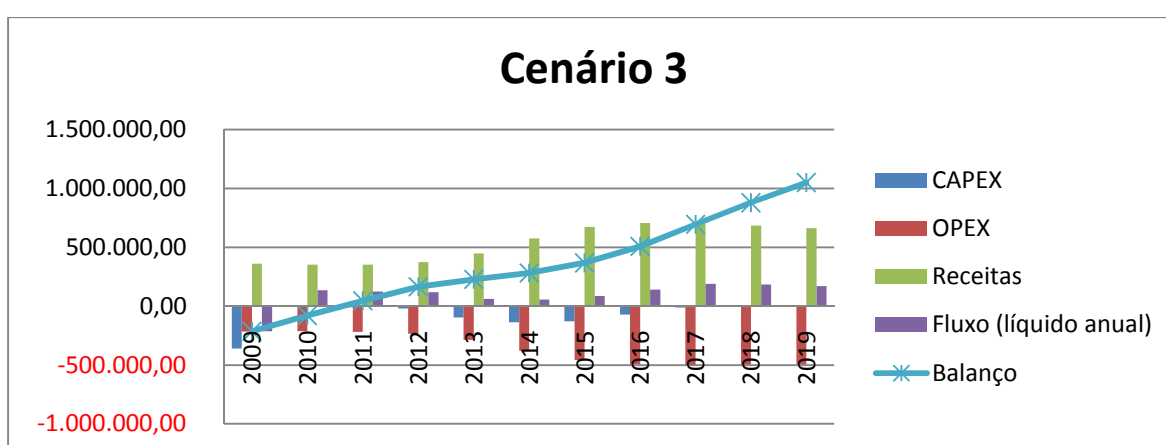
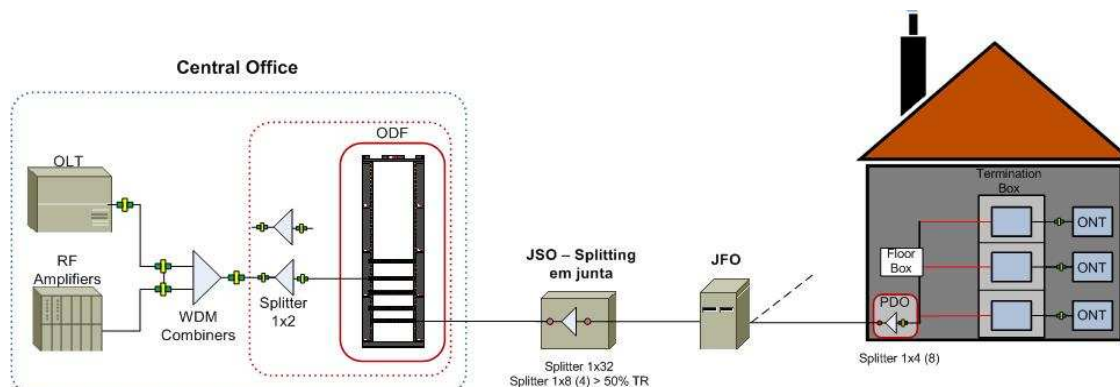


Figura 78 – Resultados económicos para o cenário 3

Nos três cenários o fluxo líquido anual (*cash-flow*) começa a ser positivo logo no segundo ano do projecto (2010) pois uma grande parte dos investimentos é feita logo no início do projecto. Nos anos seguintes os investimentos caem abruptamente e as receitas vão aumentando com o surgimento de cada vez mais clientes, tornando o fluxo líquido anual positivo. No cenário 1, a partir de 2015 o *cash-flow* decai devido ao decréscimo das receitas. Nos outros cenários esse decaimento acontece mais tarde, devido ao facto de ainda estarem em expansão. No cenário 1 a taxa de penetração tem uma evolução mais rápida que nos outros cenários, e, como tal, a saturação é atingida mais cedo e o valor das receitas começa a decrescer mais cedo. Nos outros cenários a taxa de penetração tem uma evolução mais lenta e, como tal, a taxa de penetração de saturação (25%) é atingida mais tarde.

Todos os cenários apresentam um VAL positivo e a Taxa Interna de Rentabilidade é bastante elevada, tornando o projecto atractivo. O Período de Recuperação do Projecto é bastante reduzido para todos os cenários.

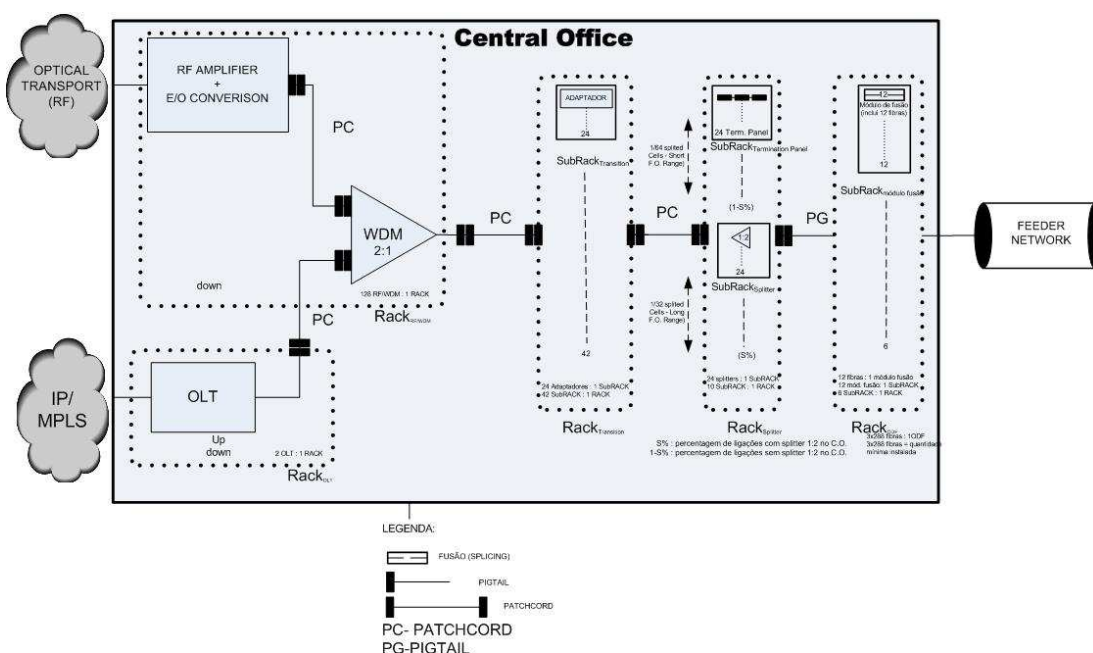
#### 4.12. Tipologia B



### Figura 79 – Tipologia B

Para esta tipologia foram analisados os diferentes elementos de custo, desde equipamentos activos no *Central Office*, instalação de fibra óptica, instalação de *splitters* em juntas, etc. Para tal, dividiu-se a rede em quatro segmentos: *Central Office*, *Feeder Network*, *Distribution Network* e *Drop Network*.

#### 4.12.1. *Central Office*



### Figura 80 – Central Office

Tal como foi explicado para a Tipologia A, no *Central Office* existe uma correlação entre todos os equipamentos. É necessário um OLT para terminar cada ligação de fibra óptica. Cada OLT é constituído por 16 cartas, e cada carta é constituída por 4 portos. Considera-se que a cada porto OLT estão ligados 64 assinantes. Também são necessários equipamentos como

amplificadores RF, WDM *Combiners* e ODFs. O número de portos OLT é igual ao número de portos RF. Os sinais que saem destes equipamentos vão ser combinados num WDM *Combiner*, a partir do qual são enviados através da mesma fibra óptica, utilizando comprimentos de onda diferentes. Cada WDM *Combiner* está ligado a um adaptador existente nos Módulos de Passagem. Estes equipamentos são constituídos por 24 adaptadores que funcionam como um ponto de passagem entre os WDM *Combiners* e os *splitters* 1:2. Neste cenário considera-se que todos os portos OLT vão ser ligados a *splitters* 1:2. A ligação entre as fibras do *Central Office* e as fibras dos cabos da *feeder network* é feita no ODF. Este é constituído por Módulos de Fusão, onde todas as fibras vão ser fundidas.

Para cada cenário determinaram-se os investimentos necessários para cada componente.

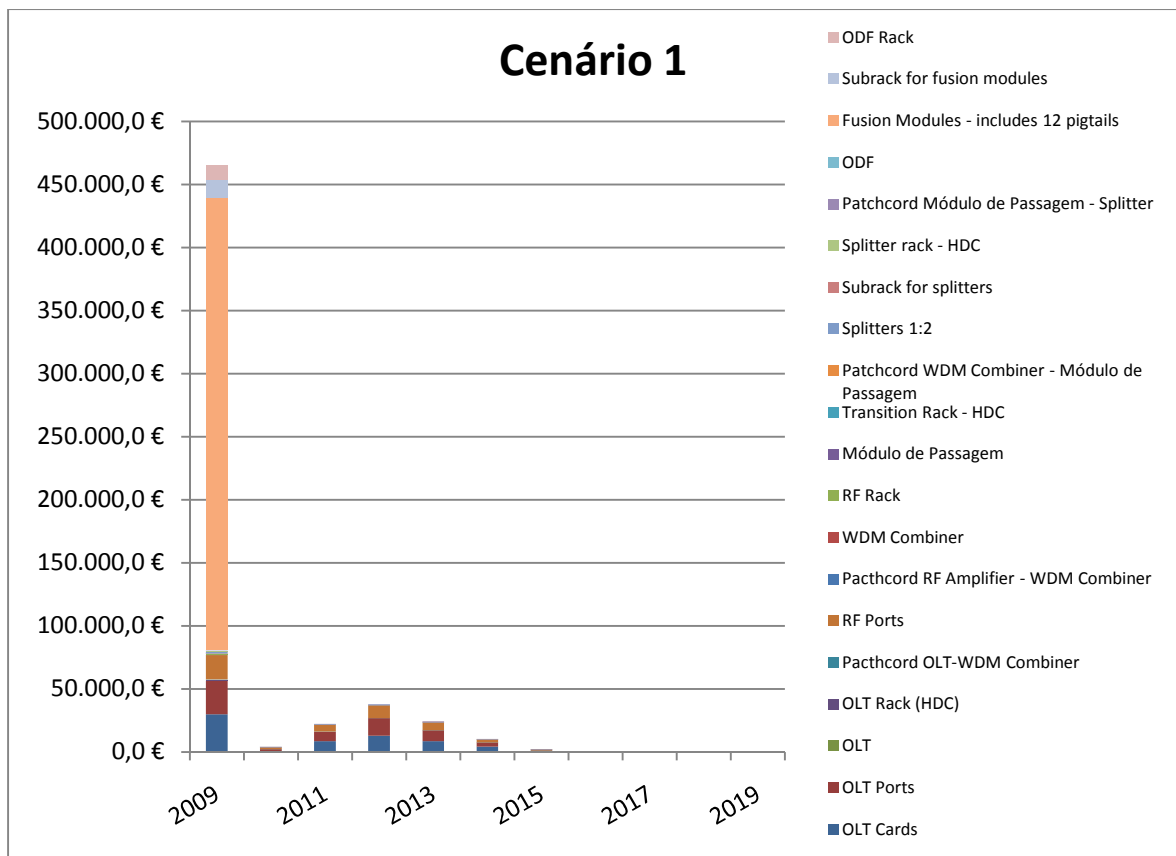


Figura 81 – Investimentos C.O. para o cenário 1

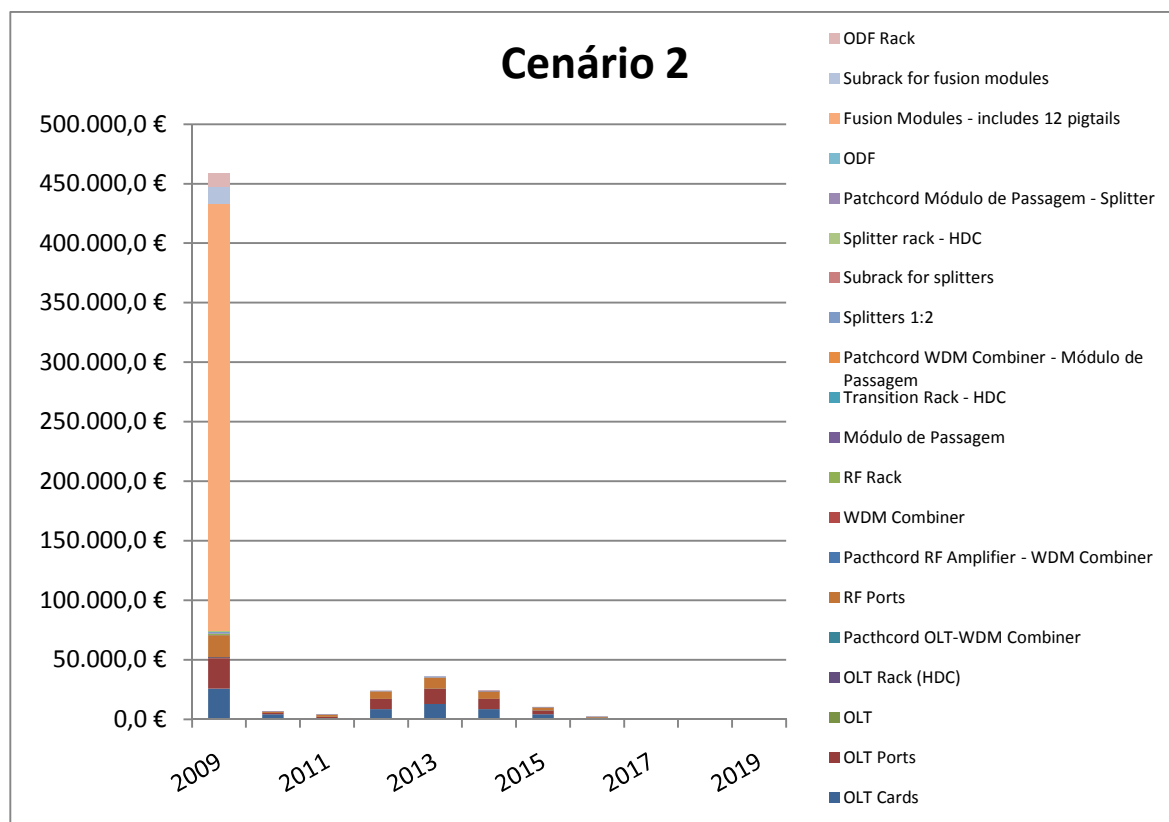


Figura 82 – Investimentos C.O. para o cenário 2

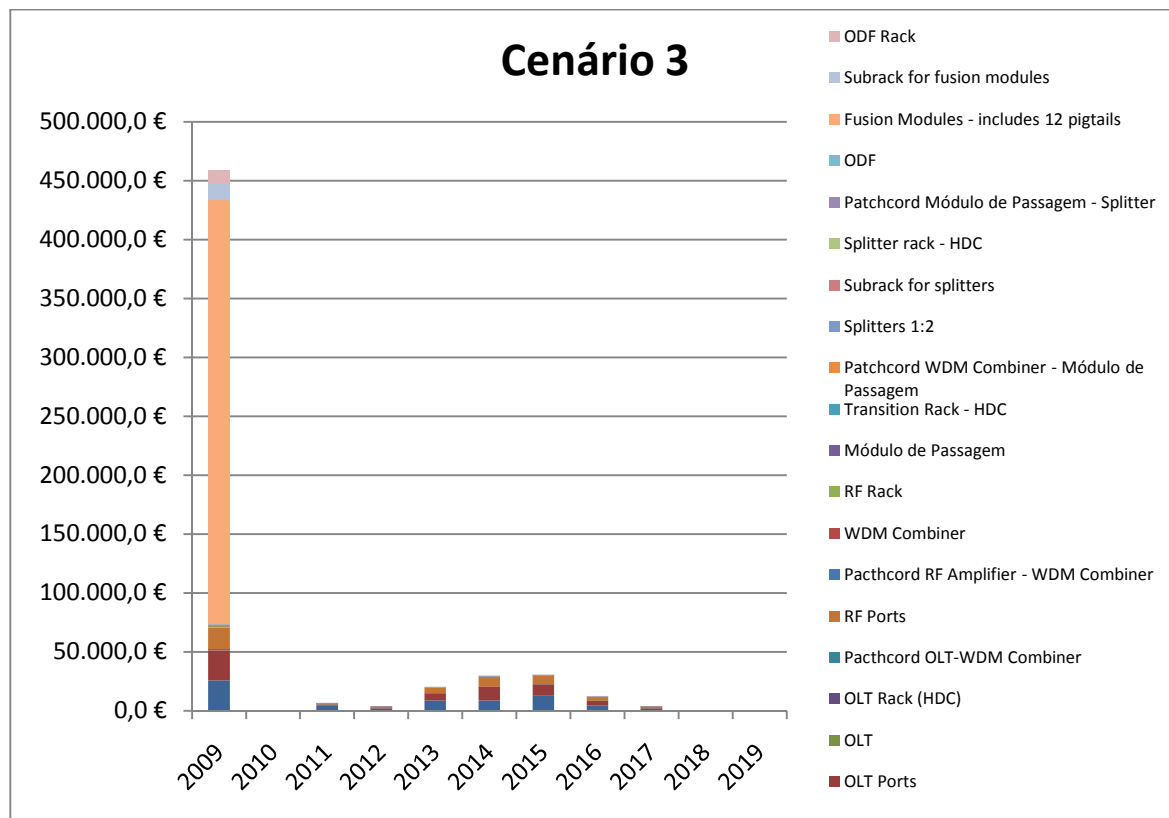


Figura 83 – Investimentos C.O. para o cenário 3



Da análise das figuras anteriores pode concluir-se que grande parte dos investimentos estão associados aos módulos de fusão e quase todo o investimento (cerca de 87% do investimento total) é feito no primeiro ano. Isto acontece porque os cabos da *feeder network* são todos instalados no início do projecto. Este facto reflecte-se, também, a nível do *Central Office* pois todas as fibras dos cabos da *feeder network* precisam de ser fundidos e, como tal, é necessário investir em módulos de fusão para fundir todas as fibras.

Na figura seguinte podem observar-se os investimentos realizados neste segmento da rede, para os 3 cenários, ao longo da duração do projecto.

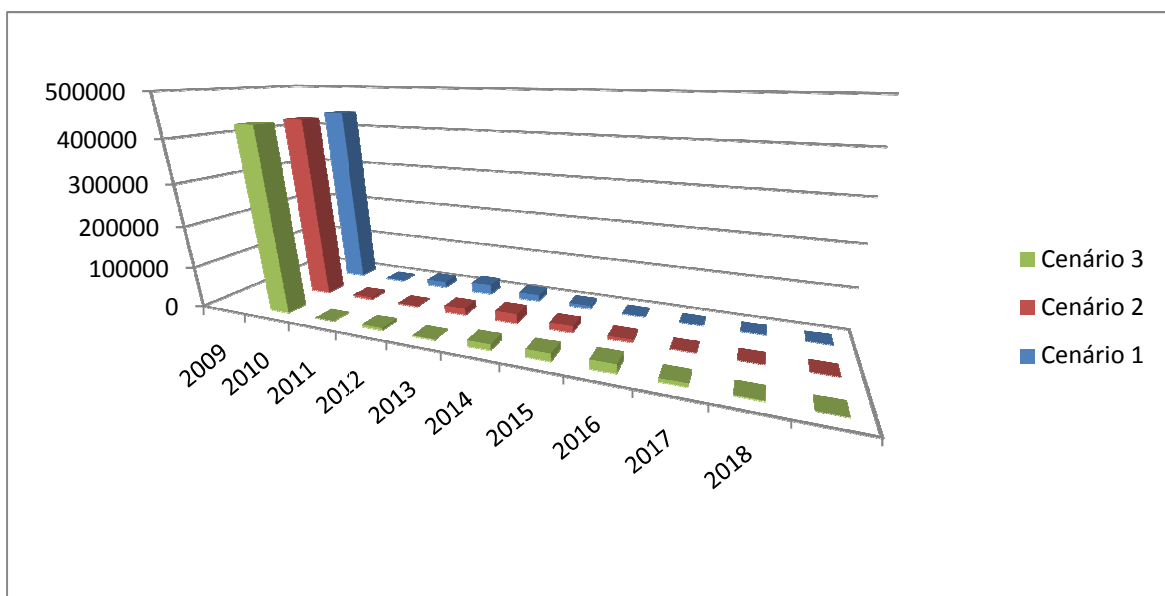


Figura 84 – Investimentos no Central Office

#### 4.12.2. Feeder Network

A *Feeder Network* (rede primária) é constituída por cabos de 288 fibras ópticas (48 são reservadas), numa topologia em árvore, ligando o *Central Office* às juntas de *splitting* óptico (JSO). Os cabos da rede primária e as juntas são instalados considerando uma taxa de penetração de 100%, isto é, de início, são instalados todos os cabos e juntas de forma a servir 100% das UAs. O segundo andar de *splitting* é colocado nas JSOs (com capacidade para 192 fibras). Cada junta com *splitters* irá cobrir áreas com 192 UAs. O tipo de *splitters* colocados nas juntas depende da taxa de adesão:

- Se a taxa de adesão for menor que 50%, são instalados *splitters* 1:32;
- Quando a taxa de adesão for igual ou superior a 50% são instalados *splitters* 1:8 ou 1:4.

No PDO é colocado outro *splitter*, complementar ao do JSO:

- Se o número de UAs total de um edifício for igual ou inferior a 27 UAs, é colocado um *splitter* 1:8 no JSO e um *splitter* 1:4 no PDO;

- Se o número de UAs total de um edifício for superior a 27 UAs, é colocado um *splitter* 1:4 no JSO e um *splitter* 1:8 no PDO.

No cenário analisado o número de UAs dos edifícios é superior a 27, pelo que foram utilizados *splitters* 1:4 no SRO.

Nas juntas, devem ser instalados todos os *splitters* 1:32 necessários para cobrir 100% da área, isto é, para servir as 192 UAs, fundindo todas as fibras necessárias.

Tendo por base os pressupostos anteriores determinaram-se, para cada cenário, os investimentos necessários para cada elemento.

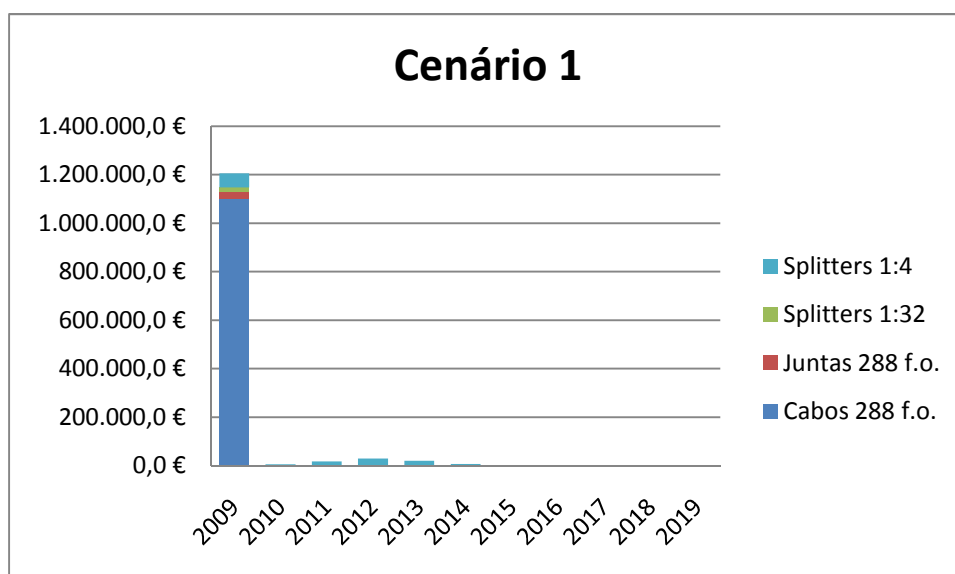


Figura 85 – Investimentos *feeder network* para o cenário 1

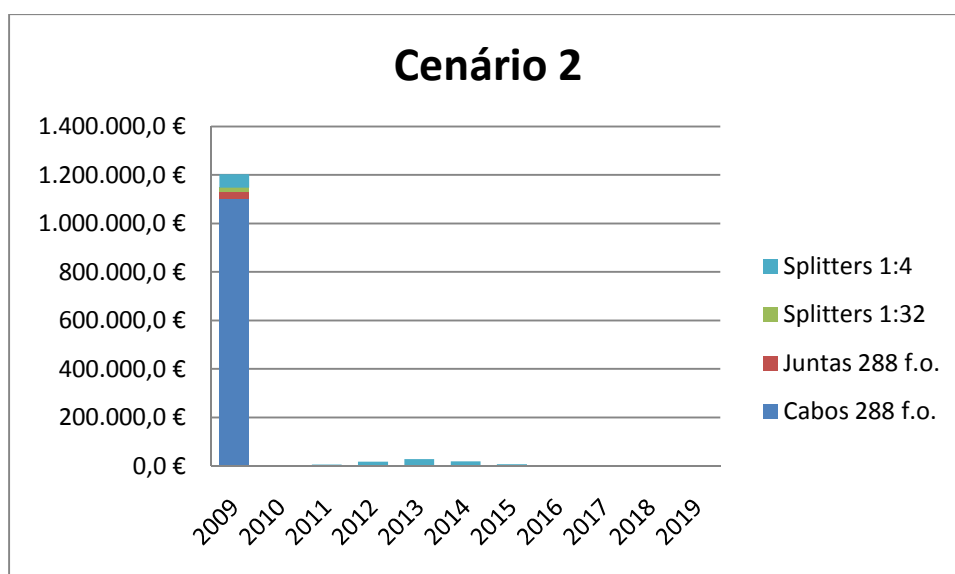


Figura 86 – Investimentos *feeder network* para o cenário 2

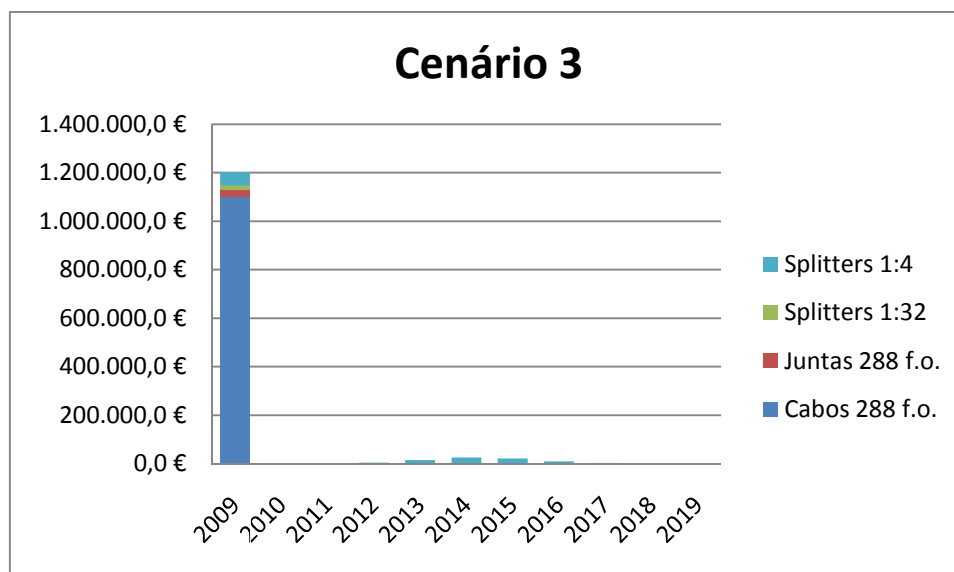


Figura 87 – Investimentos *feeder network* para o cenário 3

Da leitura dos gráficos anteriores pode-se observar que grande parte dos custos estão associados aos cabos de fibra óptica pois, os cabos da *feeder network* são dimensionados para 100% de adesão. Cerca de 86% do investimento é feito no primeiro ano do projecto. Durante os anos restantes do projecto são feitos pequenos investimentos em *splitters* 1:4, à medida que a taxa de penetração vai aumentando.

Na figura seguinte podem observar-se os investimentos realizados neste segmento da rede, para os 3 cenários, ao longo da duração do projecto.

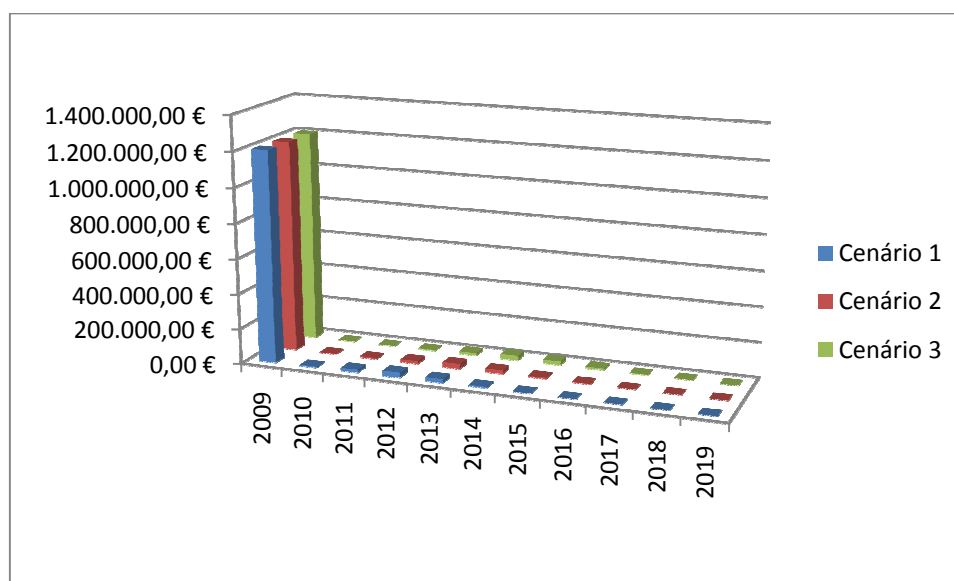


Figura 88 – Investimentos *feeder network*

### 4.12.3. *Distribution Network*

A *Distribution Network* liga os JSOs aos PDOs. Neste segmento da rede são utilizados cabos de 48 fibras ópticas. Nas JFOs, os cabos provenientes dos JSOs vão ser ligados a um maior número de cabos, permitindo uma maior capilaridade da rede.

Para cada cenário determinaram-se os investimentos necessários para cada elemento.

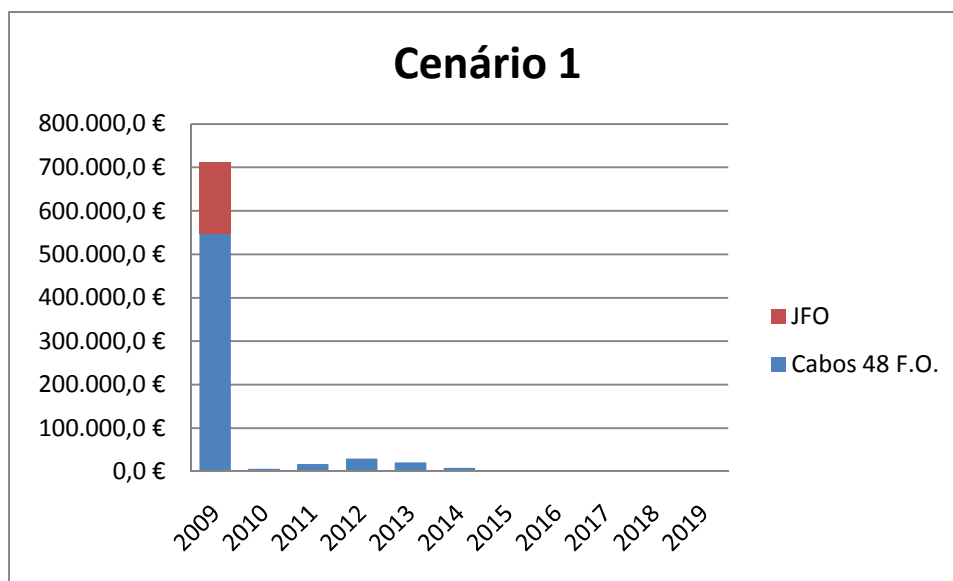


Figura 89 – Investimentos *distribution network* para o cenário 1

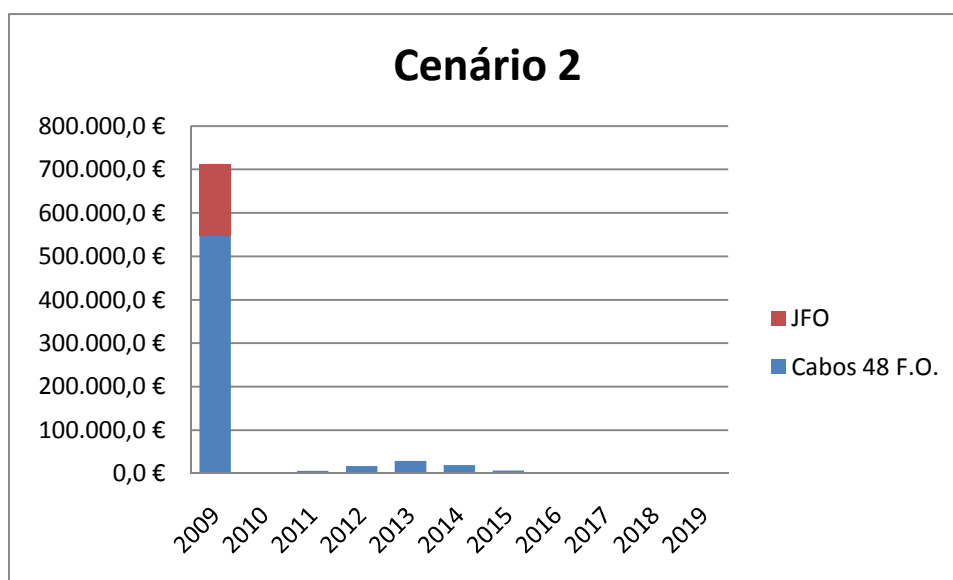


Figura 90 – Investimentos *distribution network* para o cenário 2

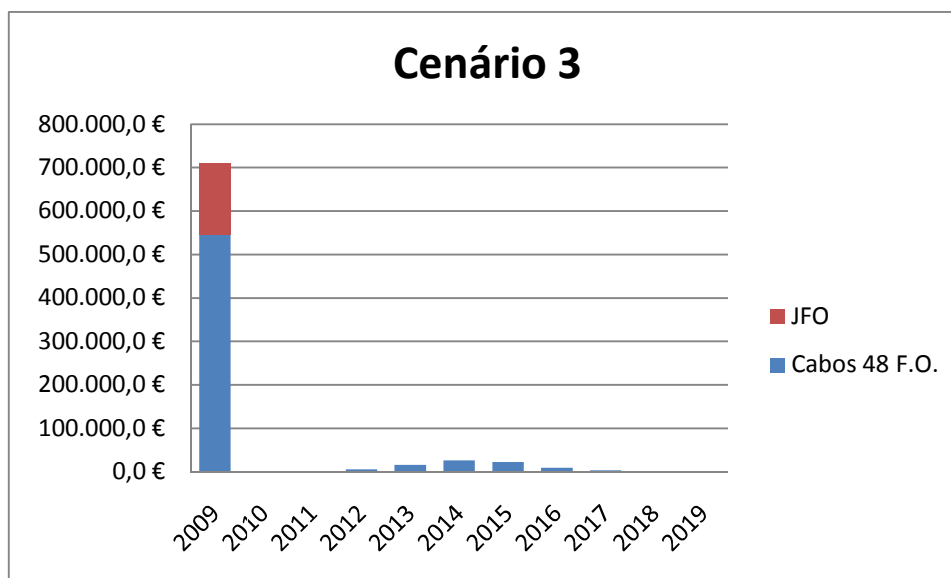


Figura 91 – Investimentos *distribution network* para o cenário 3

Como se pode observar nos gráficos anteriores, grande parte dos custos (cerca de 80%) estão associados aos cabos de fibra óptica. Tal como aconteceu nos outros segmentos da rede, grande parte do investimento é feito no primeiro ano do projecto. Isto acontece porque é necessário instalar os cabos necessários para ligar todos os *splitters* que se encontram nos JSOs.

Na figura seguinte podem observar-se, comparativamente, os investimentos realizados neste segmento da rede, para os 3 cenários, ao longo da duração do projecto.

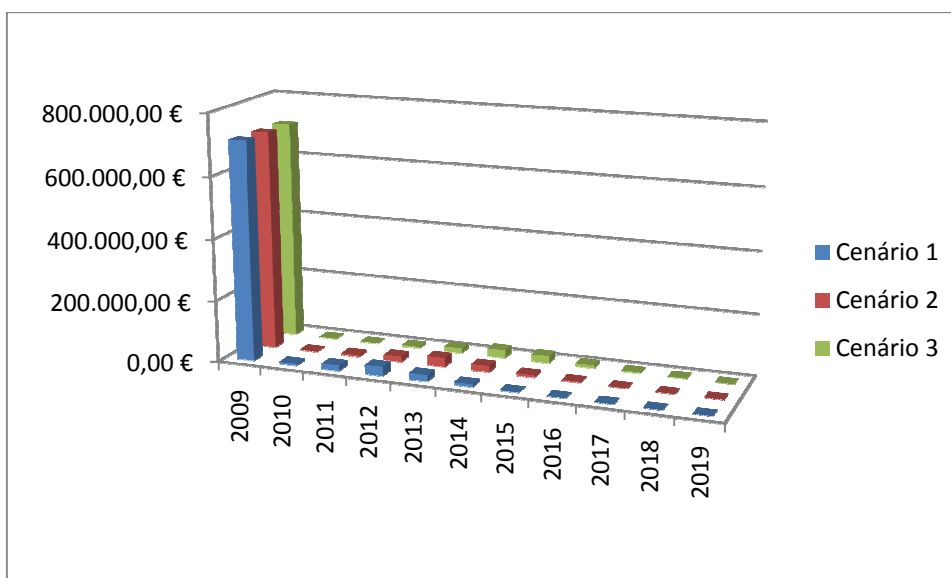


Figura 92 – Investimentos *distribution network*

#### 4.12.4. Drop Network

Neste segmento da rede é forçoso considerar todos os elementos necessários para servir os assinantes, desde o último ponto de distribuição (PDO) até ao equipamento do cliente (CPE).

Para tal, foi necessário analisar o tipo de residências que é necessário ligar à rede. Neste cenário considerou-se que 15% são SFUs (moradias) e 85% das residências são MDUs (edifícios residências). No caso dos MDUs é necessário ter em consideração o número médio de UAs por edifício e o número médio de UAs por piso, que neste cenário é 7 pisos por edifício e 4 UAs por piso.

Nos pontos de distribuição óptica (PDO) utilizam-se armários de 24 fibras ópticas, para instalação exterior, conectorizados. É nos PDOs que são instalados os *splitters* do segundo andar de *splitting*:

- Se o número de UAs a servir for inferior a 27 UAs, são instalados *splitters* 1x4;
- Se o número de UAs a servir for igual ou superior a 27 UAs, são instalados *splitters* 1x8.

No cenário analisado o número de UAs dos edifícios é superior a 27, pelo que foram utilizados *splitters* 1:8 no PDO.

No caso dos MDUs dever-se-á ter em conta os investimentos associados à instalação de cabos de fibra óptica, pois é necessário instalar cabos na coluna montante do edifício (para levar fibra a todos os pisos) e instalar cabos para ligar cada UA. Para tal, foram analisados os investimentos necessários em cabos *raiser* de 12 e 24 fibras ópticas, *floor boxes* de 4 fibras ópticas e equipamento do cliente (CPE).

No caso dos SFUs é necessário ter em conta os investimentos associados à ligação do PDO ao SFU e equipamento do cliente (CPE)

Para cada cenário determinaram-se os investimentos necessários para cada elemento, como se apresenta nas figuras seguintes.

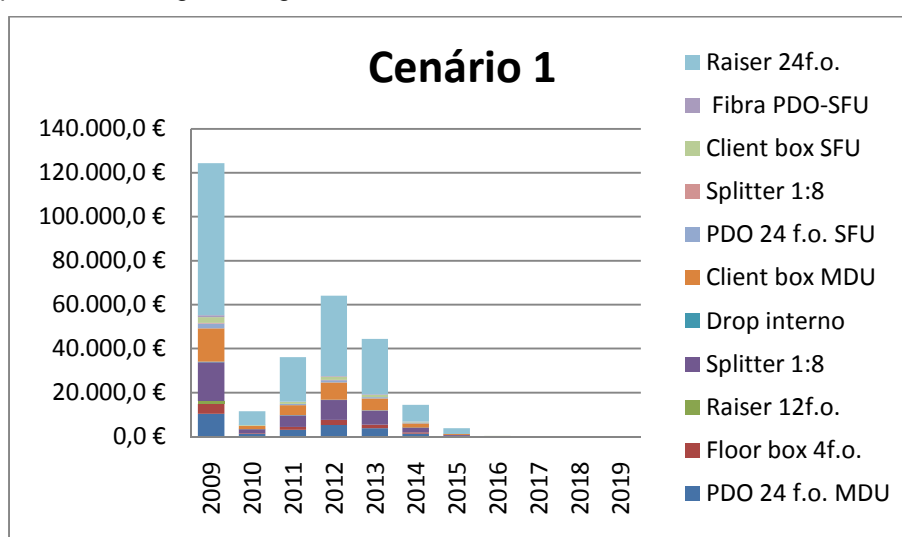
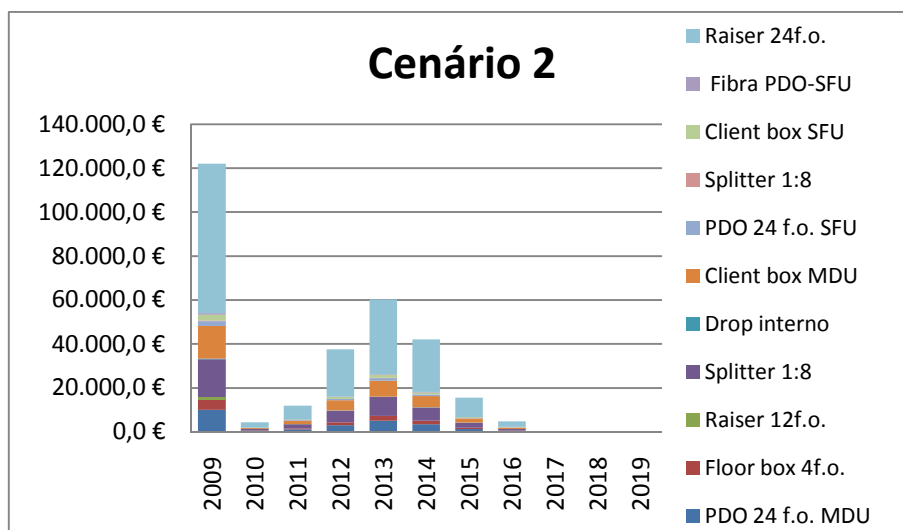
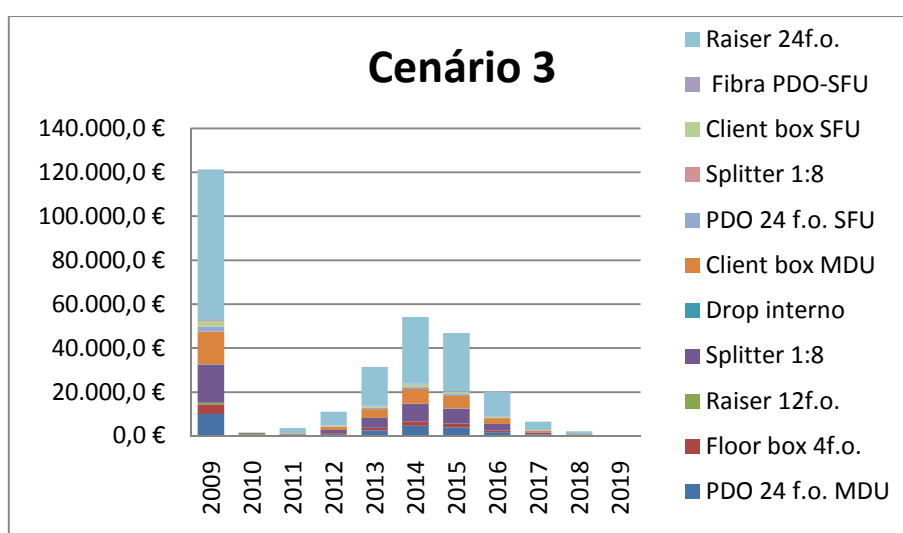


Figura 93 – Investimentos drop network para o cenário 1

Figura 94 – Investimentos *drop network* para o cenário 2Figura 95 – Investimentos *drop network* para o cenário 3

Da análise dos gráficos anteriores, podemos concluir que grande parte dos investimentos (cerca de 56%) estão associados aos cabos de fibra óptica necessários para ligar todos os pisos dos edifícios (*raisers*). Neste segmento de rede, ao contrário dos outros segmentos, os investimentos são feitos de forma mais gradual (*pay-as-you-grow*). No ano inicial do projecto é feito um grande investimento, pois é necessário instalar todos os equipamentos, que embora tenham capacidade para servir uma grande número de assinantes, irão servir um número pequeno. Com aumento da adesão dos assinantes aos serviços a capacidade desses equipamentos vai ser atingida, e será necessário, posteriormente, realizar novos investimentos.

Na figura seguinte podem observar-se os investimentos realizados, para os 3 cenários, neste segmento da rede, ao longo da duração do projecto.

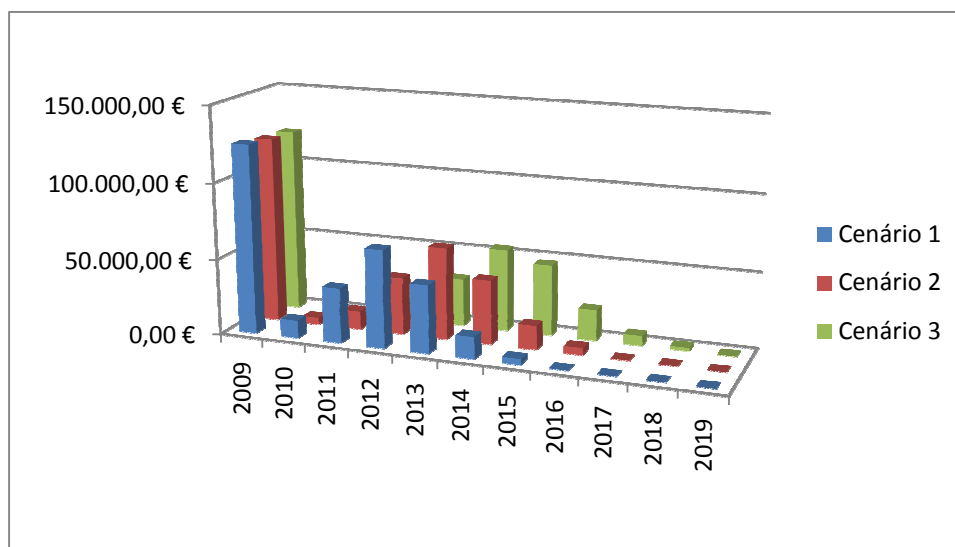


Figura 96 – Investimentos drop network

#### 4.12.5. Visão global dos investimentos

Os investimentos realizados, para esta tipologia, ao longo do período de duração do projecto encontram-se ilustrados na figura seguinte:

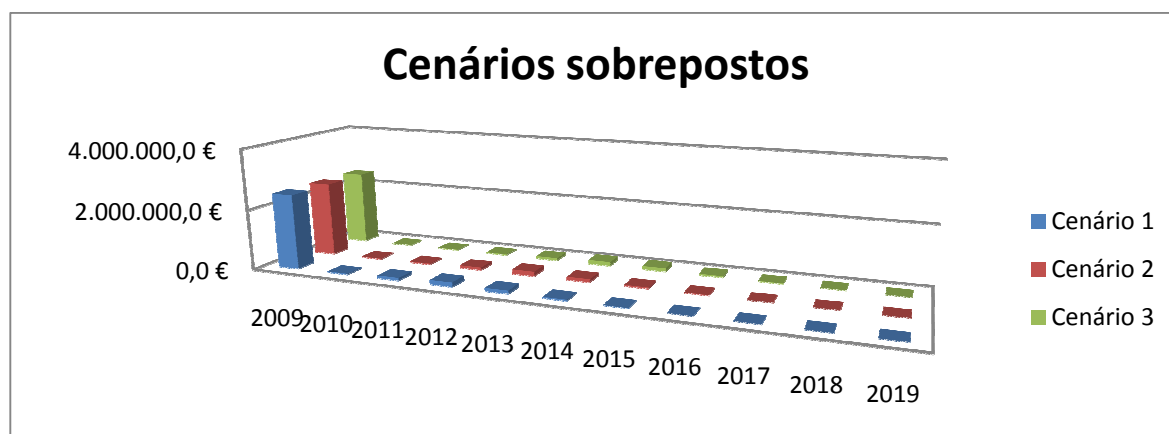


Figura 97 – Investimentos globais Tipologia B

Como se pode observar nesta figura grande parte dos investimentos são feitos no ano inicial do projecto. Isto acontece porque todos os cabos da *feeder network* e os JSOs são instalados considerando 100% de penetração. Este facto reflecte-se em quase todos os segmentos de rede, com excepção da *drop network*.

Com o aumento da adesão dos assinantes aos serviços é necessário realizar novos investimentos, mas estes são muito reduzidos quando comparados com o investimento inicial, que constitui cerca de 86% do investimento total.

Nas figuras seguintes está representada a partição dos investimentos por segmento de rede, para cada cenário:



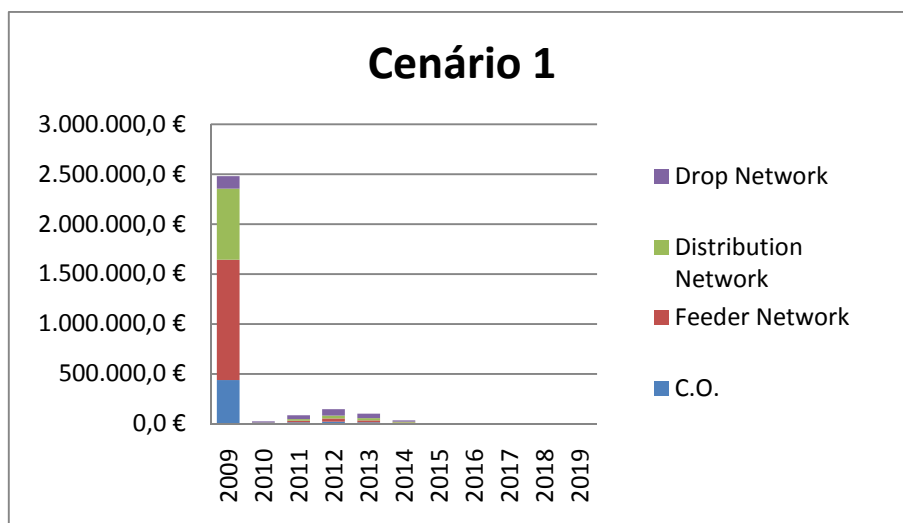


Figura 98 – Investimentos globais para o cenário 1

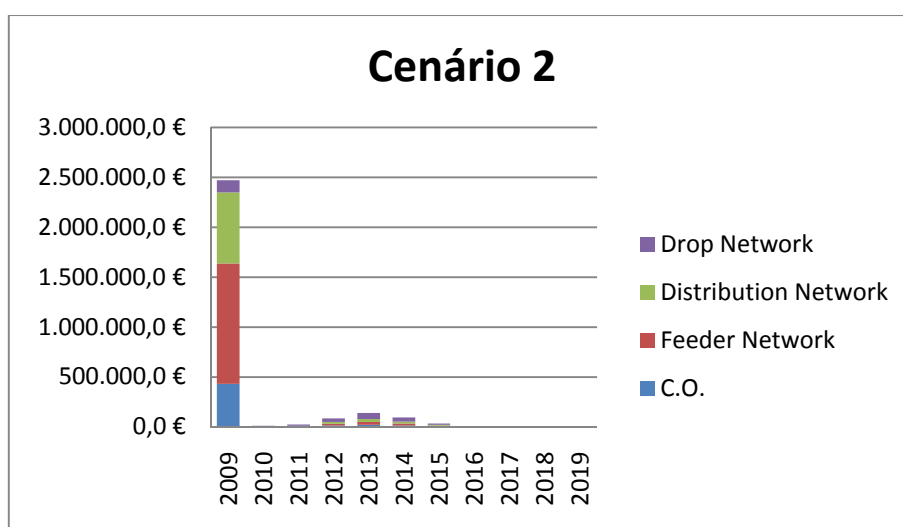


Figura 99 – Investimentos globais para o cenário 2

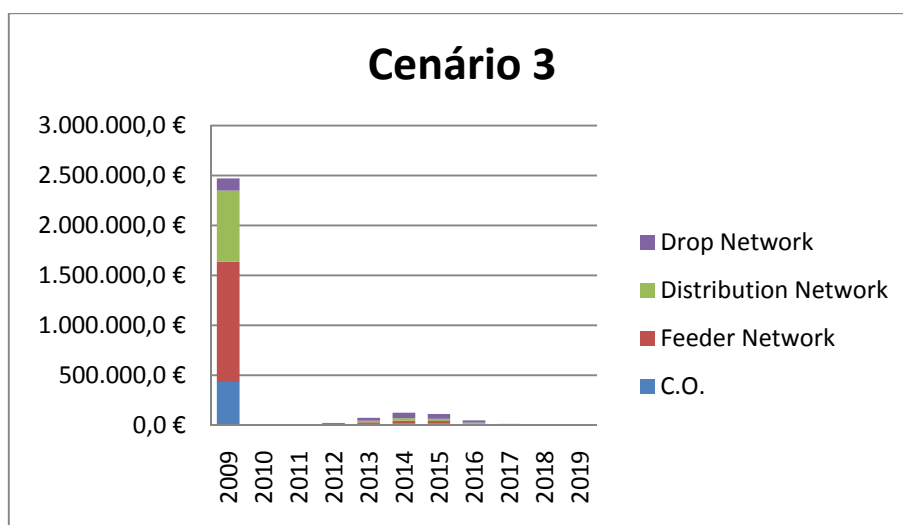


Figura 100 – Investimentos globais para o cenário 3

Da análise das figuras anteriores, pode concluir-se que grande parte dos investimentos efectuados foi aplicada na *feeder network*, constituindo cerca de 45% do investimento total. Isto deve-se ao facto de as quantidades de cabos de fibra óptica e de JSOs terem sido dimensionadas para 100% de adesão, enquanto nos outros segmentos de rede alguns dos investimentos foram feitos de acordo com a adesão dos assinantes.

#### 4.12.6. Receitas

Para o cálculo das receitas é necessário ter em consideração a dimensão do mercado, isto é, o número de potenciais assinantes e a taxa de penetração do serviço. Ao multiplicar este valor pela tarifa anual obtêm-se as receitas anuais.

Tal como foi explicado anteriormente, considerou-se o valor da tarifa no ano inicial do projecto é de 240 €, sofrendo, em cada ano, uma erosão de 3%.

A figura seguinte apresenta as receitas geradas ao longo do período de duração do projecto, para os 3 cenários:

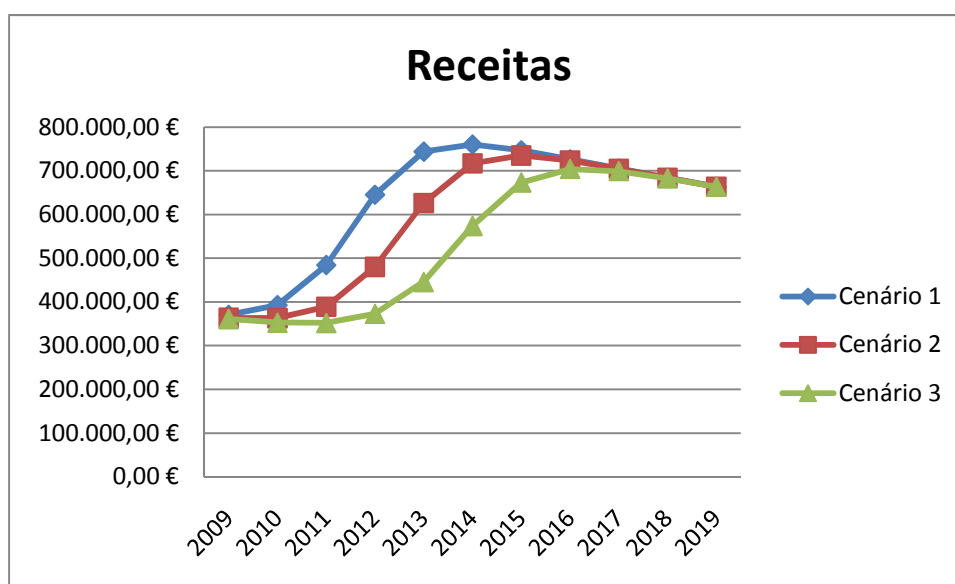


Figura 101 – Receitas geradas

Tal como se observou para a Tipologia A, verifica-se, nos três cenários, que as receitas geradas vão crescendo, devido ao surgimento de novos clientes, até que, a partir de determinado ano, passa a haver uma quebra, devido à estagnação do crescimento do número de clientes (saturação) e à redução do preço do serviço. A principal diferença entre os três cenários é a que diz respeito ao ano em que essa quebra ocorre. No cenário 1, a taxa de penetração tem uma evolução mais rápida que nos outros cenários, e, como tal, a saturação é atingida mais cedo. No cenário 3, o cenário mais pessimista, a taxa de penetração tem uma evolução mais lenta e, como tal, a taxa de penetração de saturação (25%) é atingida mais tarde. Outra diferença nestes

cenários é o valor máximo das receitas geradas. Como se pode observar, no cenário1, o mais optimista, o valor máximo é superior ao dos outros cenários. Nos três cenários, o valor das tarifas anuais aplicada a cada utilizador é igual, diminuindo a uma taxa constante de 3% por ano. No entanto, no cenário 1 a taxa de penetração tem uma evolução mais rápida, enquanto nos outros cenários a taxa de penetração tem uma evolução mais lenta. Neste cenário, os utilizadores aderem mais cedo, fazendo com que, para o mesmo valor de tarifa anual, no cenário 1 haja mais utilizadores a pagar pelo serviço. Isto justifica o facto de o cenário 1 obter um valor máximo de receitas mais elevado do que os outros.

Um aspecto importante a ter em conta, quando se pretende calcular as receitas geradas, é conhecer o investimento por utilizador servido, para se conhecer a margem de lucro obtida. Essa variação da margem de lucro pode ser observada nas figuras seguintes:

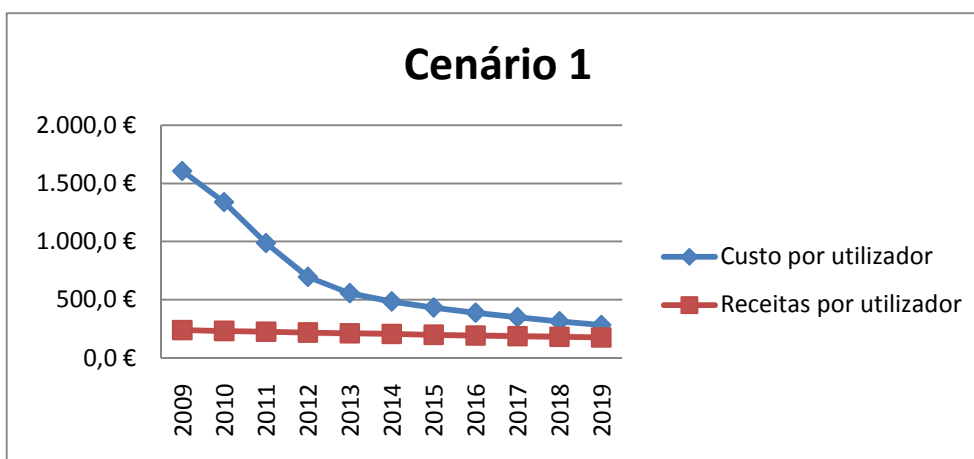


Figura 102 – Comparação entre receitas e custo por utilizador para o cenário 1

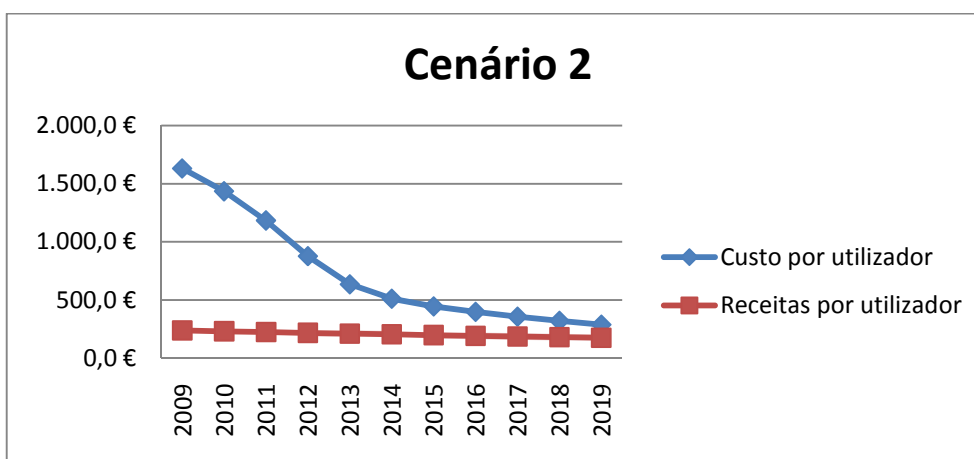


Figura 103 – Comparação entre receitas e custo por utilizador para o cenário 2

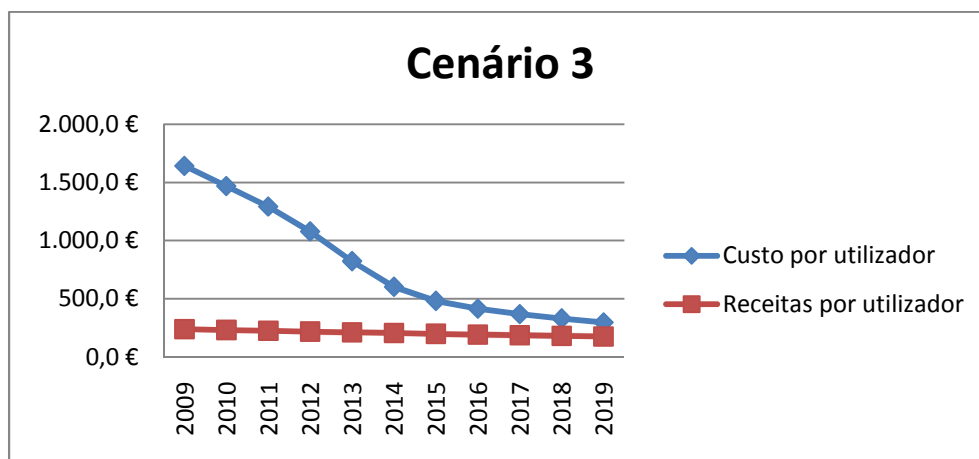


Figura 104 – Comparação ente receber e custo por utilizador para o cenário 3

Na Tipologia B, quase todo o investimento é feito no primeiro ano do projecto, e muito desse investimento é feito considerando 100% de penetração, isto é, alguns dos segmentos da rede são dimensionados para a totalidade dos assinantes. Este facto torna o custo por utilizador inicial muito elevado. Com o aumento da adesão dos assinantes aos serviços o custo por utilizador diminui. No entanto este valor é sempre superior à tarifa anual paga por cada utilizador. Devido a este facto, para esta tipologia a margem de lucro será sempre negativa.

#### 4.12.7. Resultados económicos mais relevantes

Na tabela seguinte são apresentados os resultados económicos mais relevantes para a avaliação do projecto: TIR, VAL e Período de Recuperação.

Tabela 6 – Resultados económicos

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
<b>VAL</b>	-2.093.661,65 €	-2.233.356,34 €	-2.382.933,45 €
<b>TIR</b>	-16%	-18%	-
<b>Período de Recuperação</b>	11	11	11

Nas figuras seguintes são apresenta alguns resultados económicos que permitem analisar melhor a viabilidade económica do projecto:

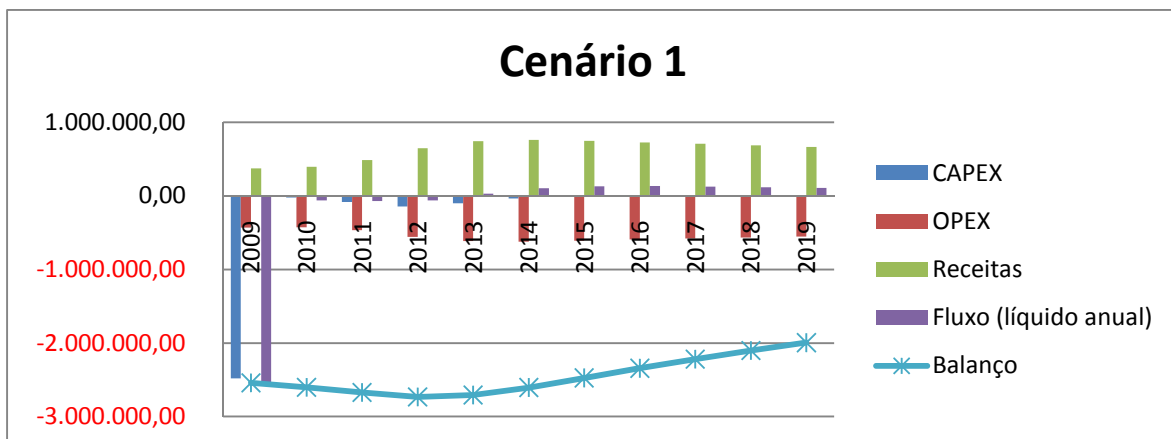


Figura 105 – Resultados económicos para o cenário 1

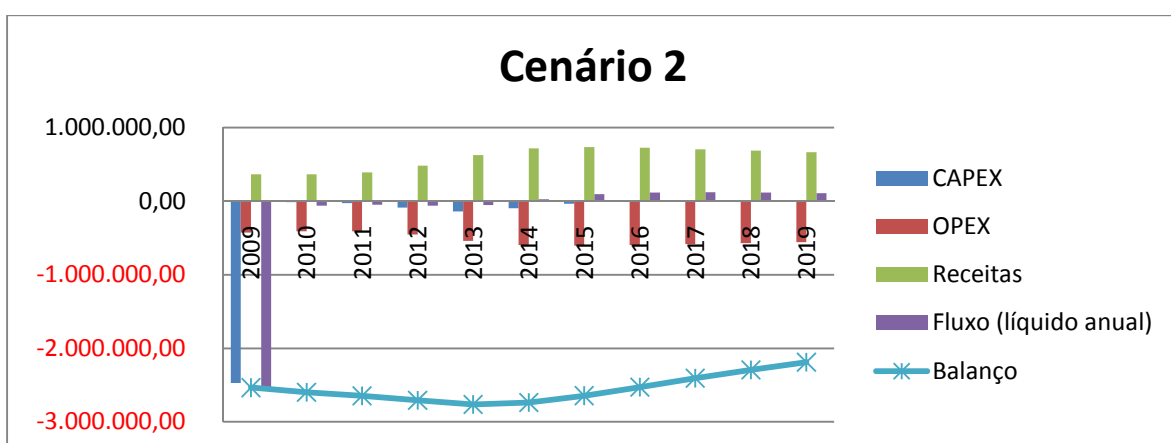


Figura 106 – Resultados económicos para o cenário 2

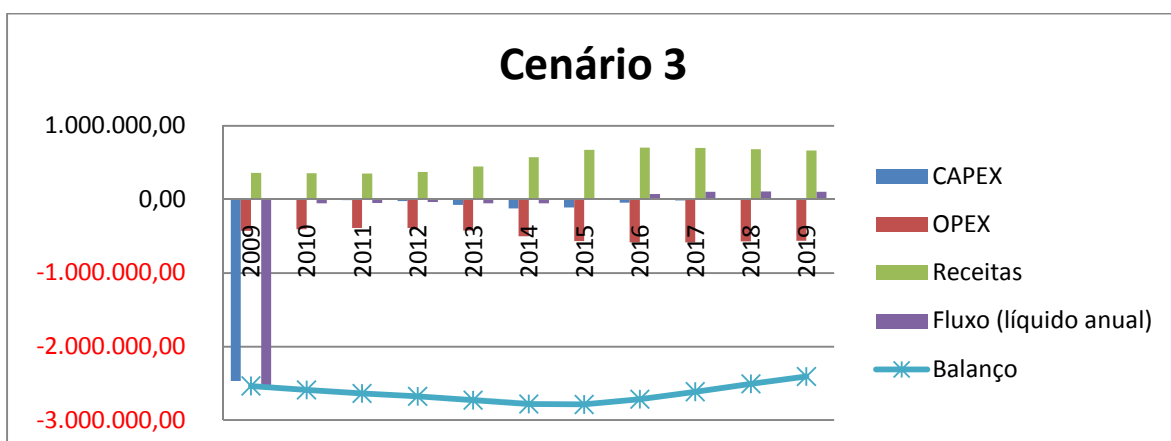


Figura 107 – Resultados económicos para o cenário 3

No cenário 1 o fluxo líquido anual (*cash-flow*) torna-se positivo a partir do quinto ano do projecto (2013). Grande parte dos investimentos são feitos logo no ano inicial do projecto, enquanto nos anos seguintes os investimentos feitos são muito inferiores ao investimento inicial. Por outro lado, as receitas vão aumentando com o surgimento de novos assinantes, tornando o fluxo líquido anual positivo. Nos cenários 2 e 3, o fluxo líquido anual só se torna positivo a partir do

sexto e oitavo ano do projecto, respectivamente. No cenário 1, a partir de 2017 o *cash-flow* decai devido ao decréscimo das receitas. Nos outros cenários esse decaimento acontece mais tarde, devido ao facto de ainda estarem em expansão. No cenário 1 a taxa de penetração tem uma evolução mais rápida que nos outros cenários e, como tal, a saturação é atingida mais cedo e o valor das receitas começa a decrescer mais cedo. Nos outros cenários a taxa de penetração tem uma evolução mais lenta e, por isso, a taxa de penetração de saturação (25%) é atingida mais tarde.

Todos os cenários apresentam um VAL e TIR negativos, tornando o projecto pouco atractivo. O Período de Recuperação do Projecto é bastante longo para todos os cenários.

Os maus resultados económicos obtidos para esta tipologia são justificados pelo facto de, tal como foi explicado anteriormente, durante o período de análise deste projecto, as receitas geradas serem inferiores ao custo por utilizador pelo que, o investimento efectuado na rede não vai ser recuperado. Muitos dos segmentos desta tipologia foram dimensionados para servir a totalidade dos assinantes, ou seja, considerando 100% de penetração. Nos 3 cenários analisados, a taxa de penetração de saturação foi de 25% e, como tal, não se conseguiu recuperar os investimentos efectuados. Possivelmente, se se tivesse considerado uma taxa de penetração superior, ter-se-iam obtido resultados económicos mais atractivos.

### 4.13. Tipologia C

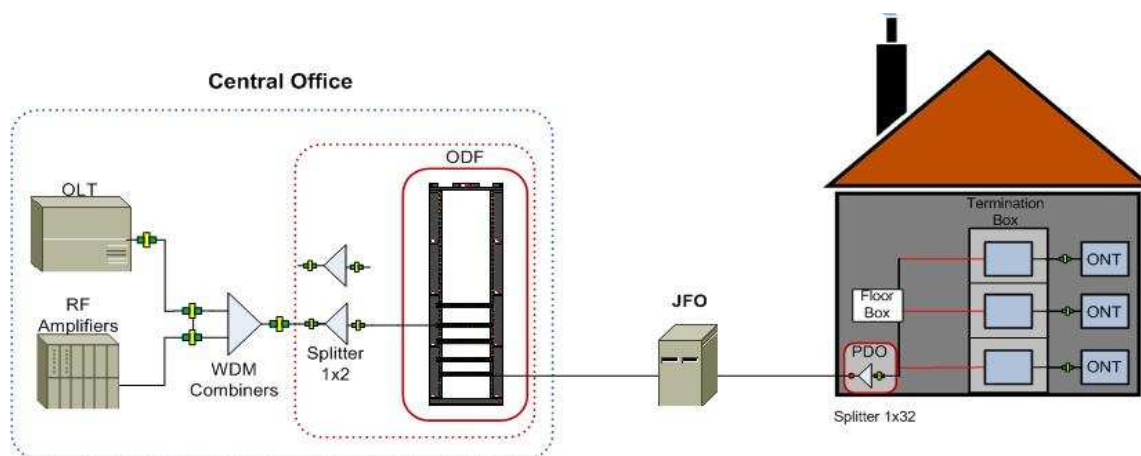


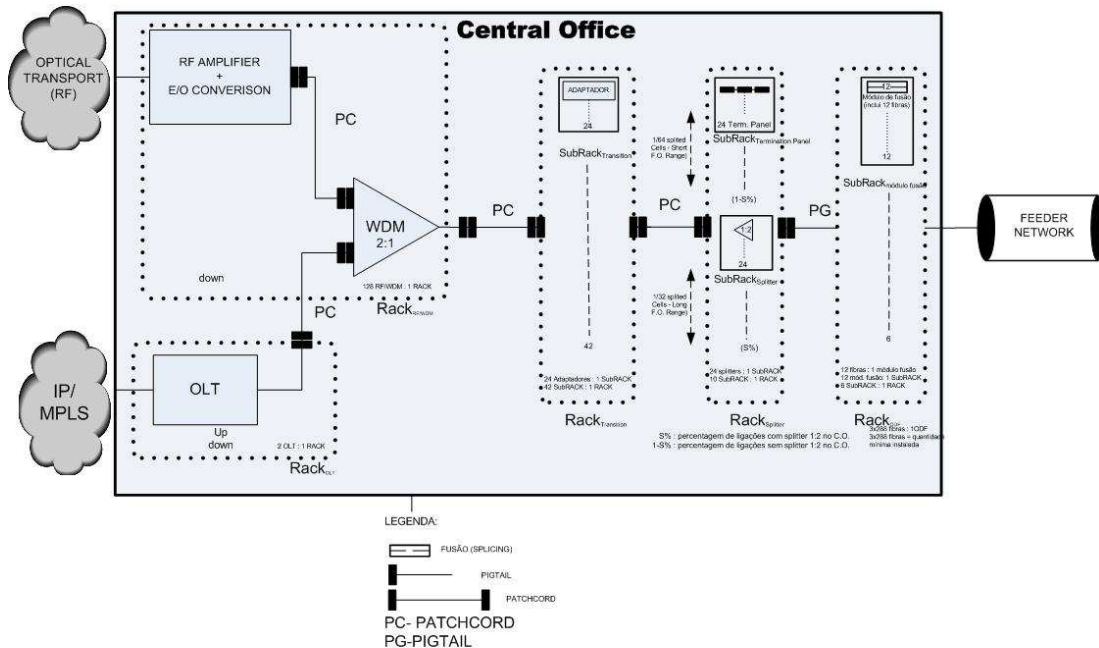
Figura 108 – Tipologia C

Esta tipologia é utilizada em duas situações diferentes:

- Quando se pretende servir edifícios com número de UAs igual ou superior a 64 UAs;
- Quando se pretende servir um conjunto de edifícios cuja soma das UAs seja igual ou superior a 64 UAs e que tenham apenas um ponto de acesso comum a todos. Nesse

ponto será instalado o PDO. Nesta situação, o conjunto de edifícios é considerado como sendo um único edifício, cujo número de UAs é igual à soma das UAs de cada edifício. Para esta tipologia foram analisados os diferentes elementos de custo, desde equipamentos activos no *Central Office*, instalação de fibra óptica, instalação de *splitters*, etc. Para tal, dividiu-se a rede em três segmentos: *Central Office*, *Feeder Network*, e *Drop Network*.

#### 4.13.1. *Central Office*



### Figura 109 – Central Office

Tal como foi explicado para a Tipologia A, no *Central Office* existe uma correlação entre todos os equipamentos. É necessário um OLT para terminar cada ligação de fibra óptica. Cada OLT é constituído por 16 cartas, e cada carta é constituída por 4 portos. Considera-se que a cada porto OLT estão ligados 64 assinantes. Também são necessários equipamentos como amplificadores RF, WDM *Combiners* e ODFs. O número de portos OLT é igual ao número de portos RF. Os sinais que saem destes equipamentos vão ser combinados num WDM *Combiner*, a partir do qual são enviados através da mesma fibra óptica, utilizando comprimentos de onda diferentes. Cada WDM *Combiner* está ligado a um adaptador existente nos Módulos de Passagem. Estes equipamentos são constituídos por 24 adaptadores que funcionam como um ponto de passagem entre os WDM *Combiners* e os *splitters* 1:2. Neste cenário considera-se que todos os portos OLT vão ser ligados a *splitter* 1:2. A ligação entre as fibras do *Central Office* e as fibras dos cabos da *feeder network* é feita no ODF. Este é constituído por Módulos de Fusão, onde todas as fibras vão ser fundidas.

Para cada cenário determinaram-se os investimentos necessários para cada componente.

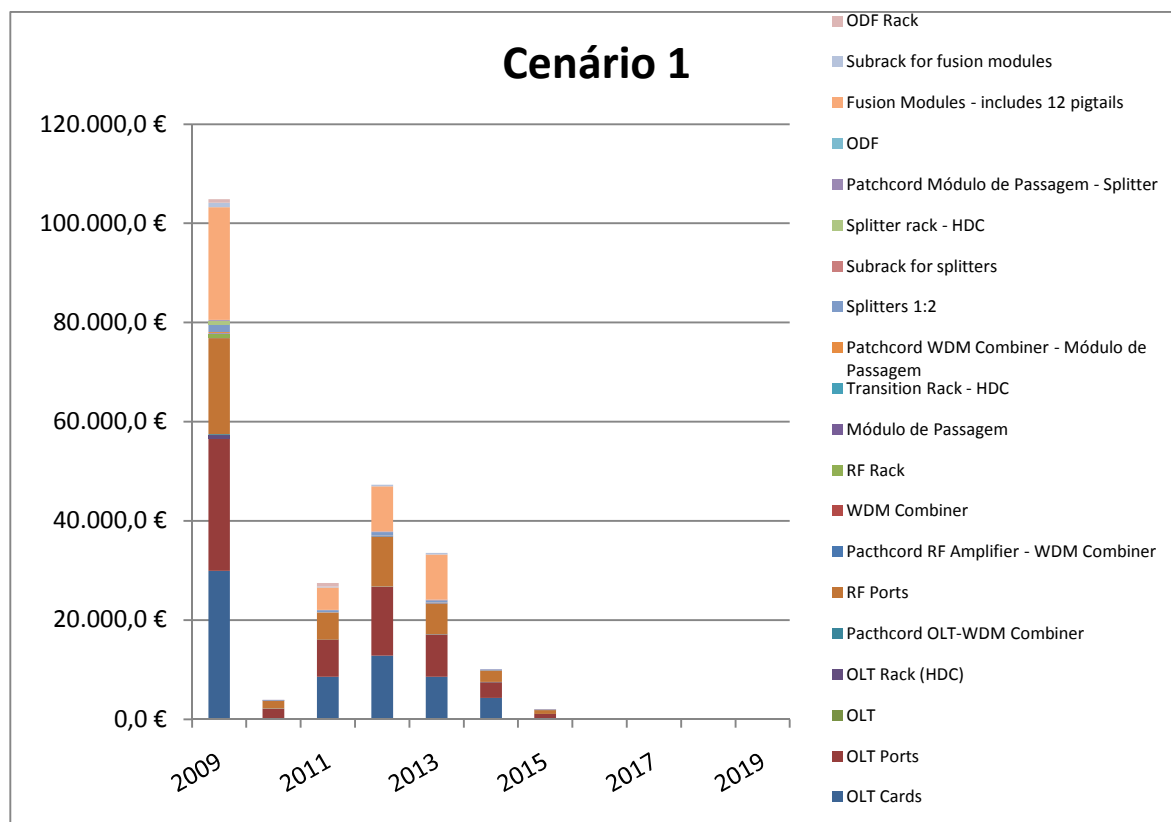


Figura 110 – Investimentos C.O. para o cenário 1

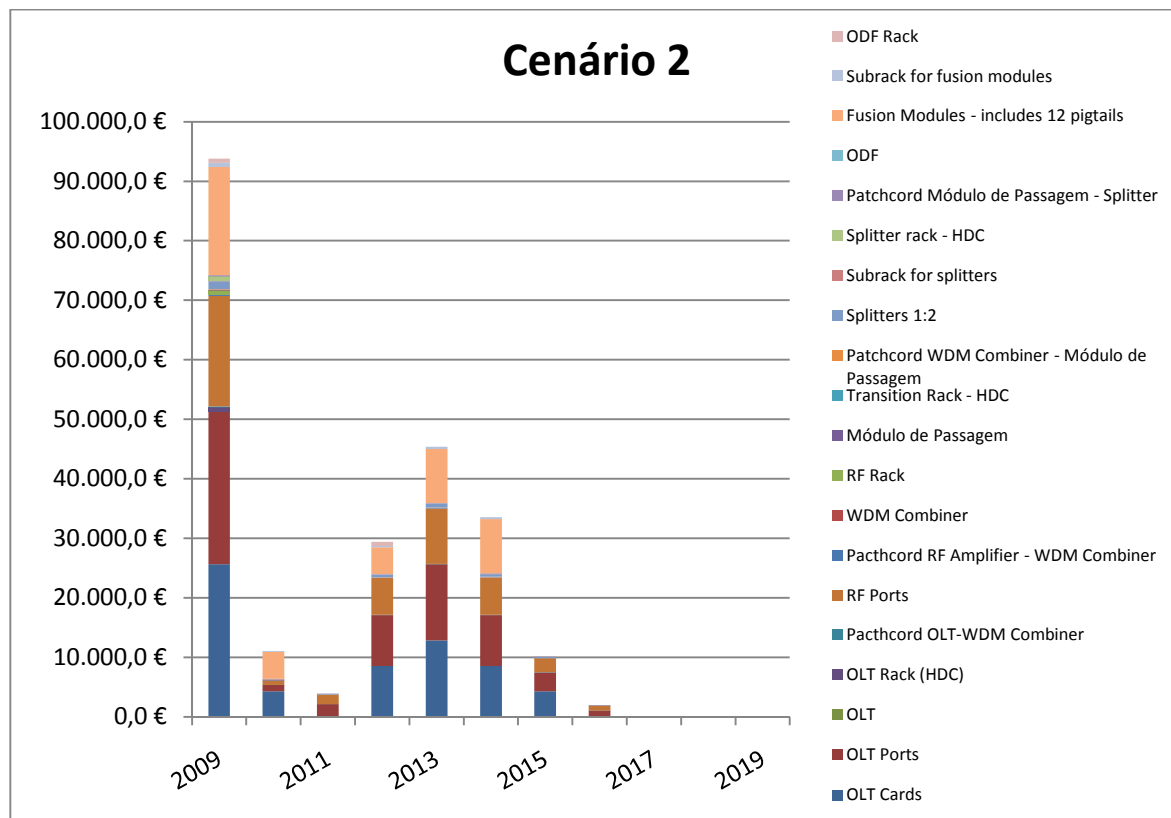
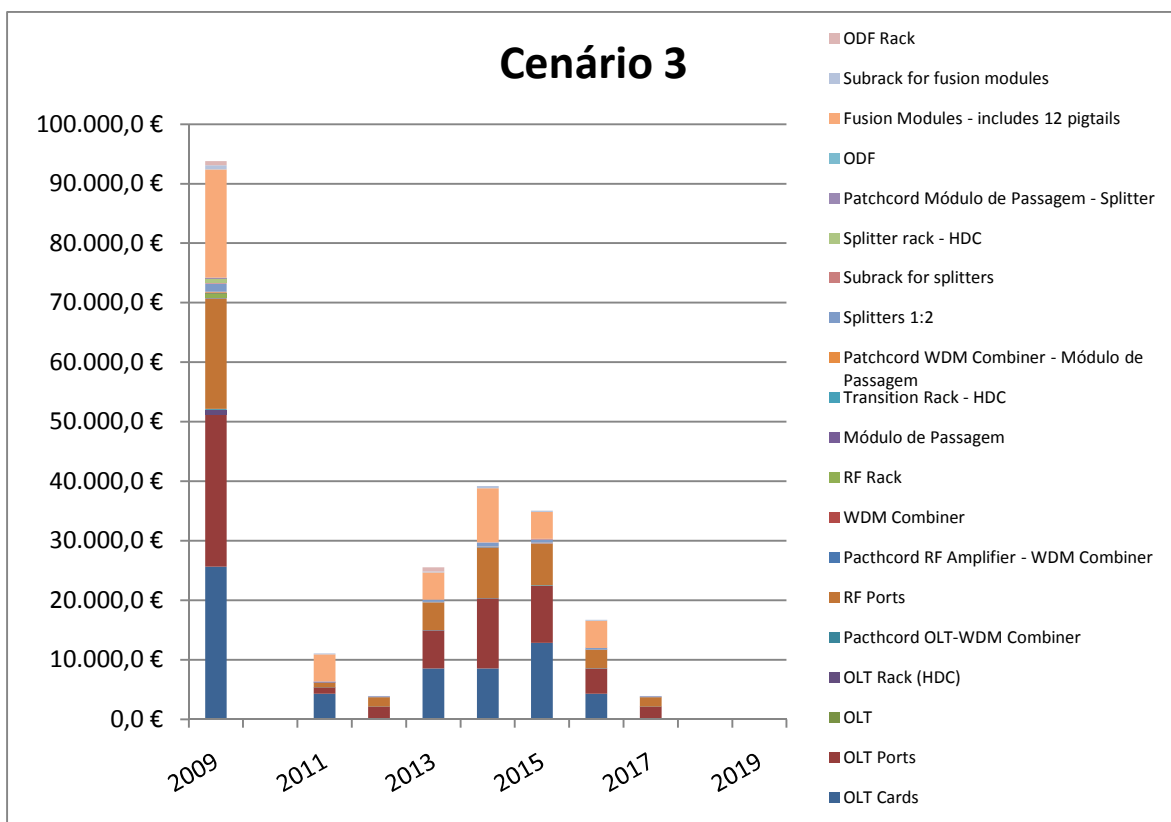


Figura 111 – Investimentos C.O. para o cenário 2





**Figura 112 – Investimentos C.O. para o cenário 3**

Da análise dos gráficos anteriores conclui-se que, grande parte dos custos estão associados aos portos OLT, aos portos RF e aos módulos de fusão, que correspondem a 39%, 27% e 27%, respectivamente, do investimento. Verifica-se que o grosso dos investimentos (cerca de 47%) são feitos no ano inicial do projecto, pois é necessário instalar todos os equipamentos necessários apesar de servir apenas um pequeno número de assinantes. Com o aumento da adesão dos assinantes aos serviços, a capacidade dos equipamentos instalados vai ser atingida, e será necessário realizar novos investimentos. A principal diferença entre os três cenários é nos anos em que esses novos investimentos são feitos. No cenário 1 a taxa de penetração tem uma evolução mais rápida que nos outros cenários, fazendo com que seja necessário investir em novos equipamentos mais cedo. Nos outros cenários a taxa de penetração tem uma evolução mais lenta e, como tal, os novos investimentos serão feitos mais tarde.

Na figura seguinte podem-se observar os investimentos realizados neste segmento da rede, para os 3 cenários, ao longo da duração do projecto.

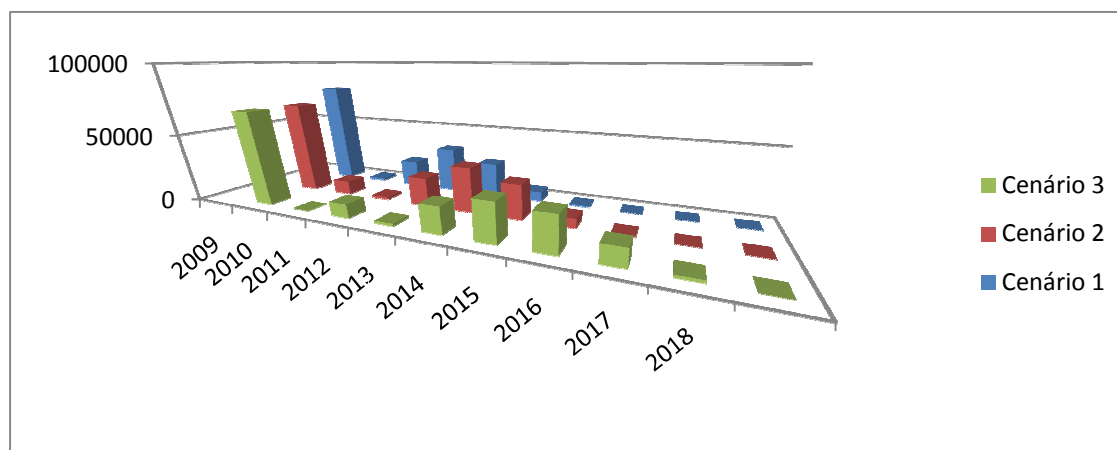


Figura 113 – Investimentos no Central Office

#### 4.13.2. Feeder Network

O *Central Office* está ligado directamente aos PDOs, estabelecendo-se ligações ponto-a-ponto entre eles. Neste segmento da rede são utilizados cabos de 288 fibras ópticas que vão ser ligados a JFOs. Aí, as fibras ópticas desses cabos vão ser fundidas às fibras de cabos de 48 fibras ópticas, permitindo uma maior capilaridade da rede.

O segundo andar de *splitting*, constituído apenas por *splitters* 1x32, é colocado nos PDOs. Inicialmente é instalado um *splitter* 1x32. O segundo *splitter* será instalado quando for necessário fazer a ligação para o 33º assinante. O terceiro *splitter* será instalado quando for necessário fazer a ligação para o 65º assinante, e assim sucessivamente. Os *splitters* são instalados nos PDOs de acordo com as necessidades dos clientes, atingindo-se 100% das UAs do edifício. Cada PDO é instalado no ponto de acesso comum às 64 UAs.

Para cada cenário determinaram-se os investimentos necessários para cada elemento.

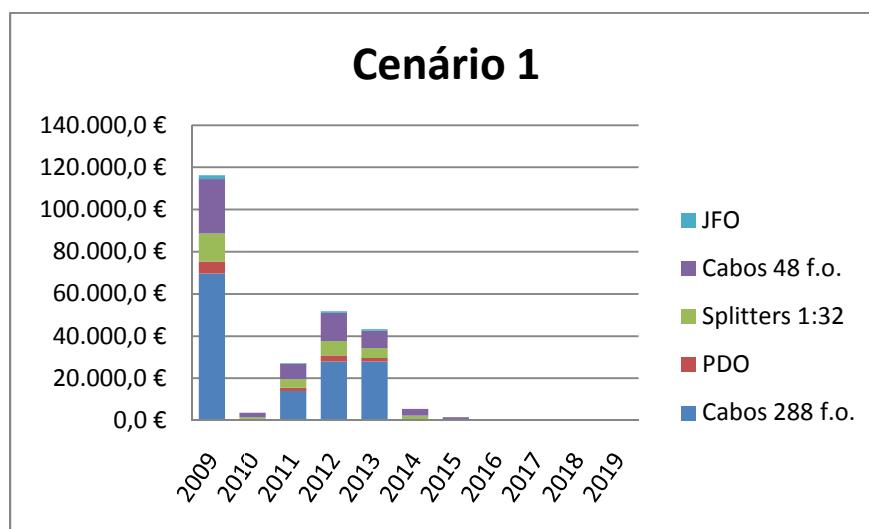
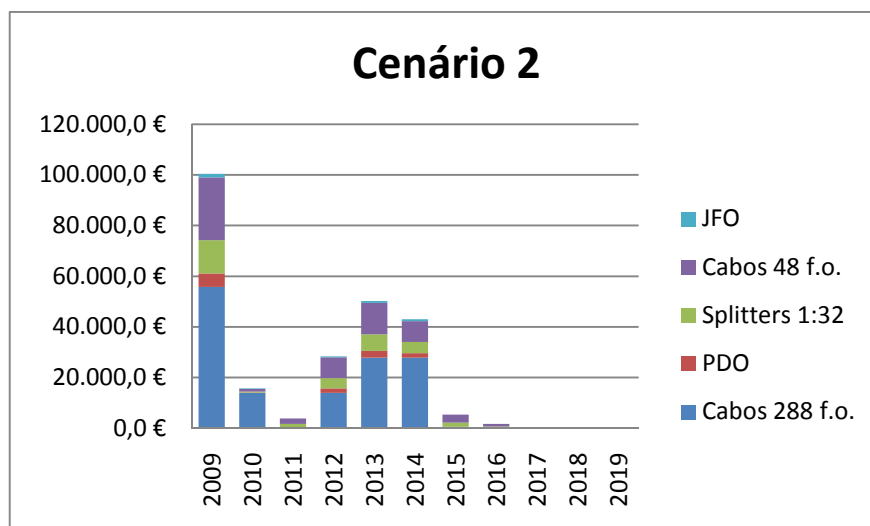
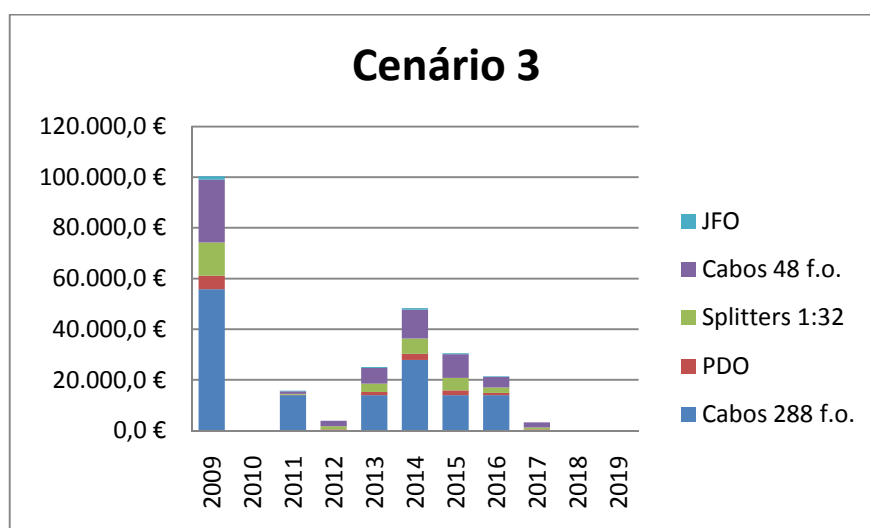


Figura 114 – Investimentos feeder network para o cenário 1

Figura 115 – Investimentos *feeder network* para o cenário 2Figura 116 – Investimentos *feeder network* para o cenário 3

Como se pode observar nos gráficos anteriores, grande parte dos custos estão associados aos cabos de fibra óptica, correspondendo a 80% do investimento. Tal como se verificou no segmento de rede analisado anteriormente (*Central Office*), grande parte dos investimentos (cerca de 47%) são feitos no ano inicial do projecto, pois é necessário instalar todos os equipamentos necessários apesar de apenas servir um pequeno número de assinantes. À medida que o número de assinantes a aderir aos serviços vai aumentando a capacidade dos equipamentos instalados vai ser atingida, e será necessário realizar novos investimentos. A principal diferença entre os três cenários é nos anos em que esses novos investimentos são feitos. No cenário 1 a taxa de penetração tem uma evolução mais rápida que nos outros cenários, fazendo com que seja necessário investir em novos equipamentos mais cedo. Nos outros cenários a taxa de penetração tem uma evolução mais lenta e, como tal, os novos investimentos serão feitos mais tarde.

Na figura seguinte podem-se observar os investimentos realizados neste segmento da rede, para os 3 cenários, ao longo da duração do projecto.

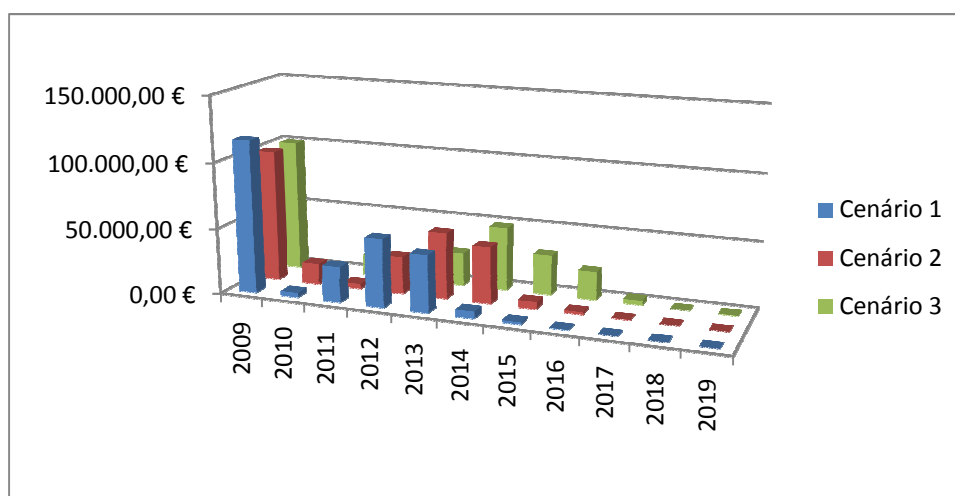


Figura 117 – Investimentos *feeder network*

#### 4.13.3. *Drop Network*

Neste segmento da rede é necessário considerar todos os elementos necessários para servir os assinantes, desde o último ponto de distribuição (PDO) até ao equipamento do cliente (CPE).

Para tal, foi necessário analisar o tipo de residências que é necessário ligar à rede. Neste cenário considerou-se que 15% são SFUs (moradias) e 85% das residências são MDUs (edifícios residências). No caso dos MDUs é necessário ter em consideração o número médio de UAs por edifício e o número médio de UAs por piso, que neste cenário é 7 pisos por edifício e 4 UAs por piso.

No caso dos MDUs é necessário ter em conta os investimentos associados à instalação de cabos de fibra óptica, pois é necessário instalar cabos na coluna montante do edifício (para levar fibra a todos os pisos) e instalar cabos para ligar cada UA. Para tal, foram analisados os investimentos necessários em cabos *raiser* de 12 e 24 fibras ópticas, *floor boxes* de 4 fibras ópticas e equipamento do cliente (CPE).

No caso dos SFUs é necessário ter em conta os investimentos associados à ligação do PDO ao SFU e equipamento do cliente (CPE)

Para cada cenário determinaram-se os investimentos necessários para cada elemento.

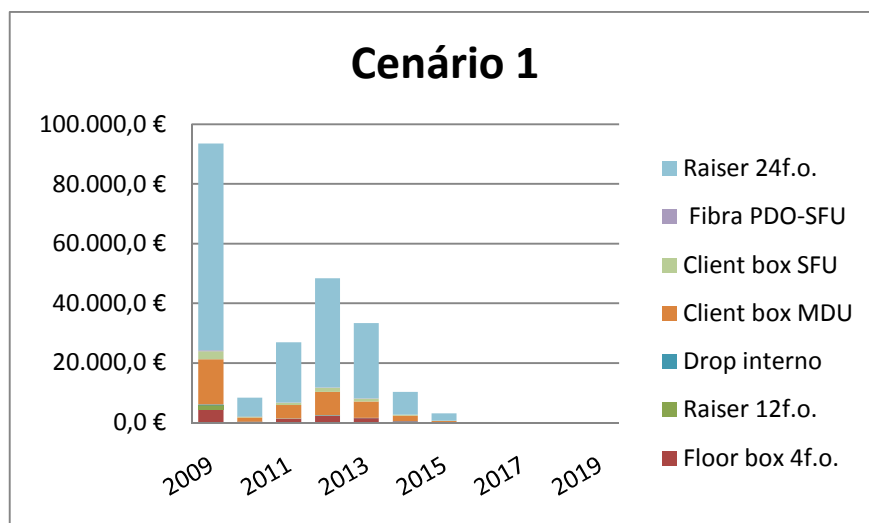


Figura 118 – Investimentos *drop network* para o cenário 1

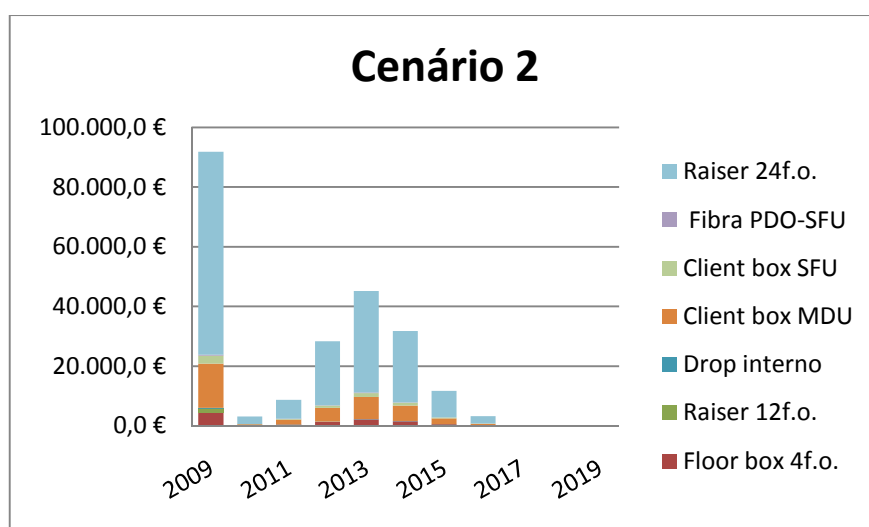


Figura 119 – Investimentos *drop network* para o cenário 2

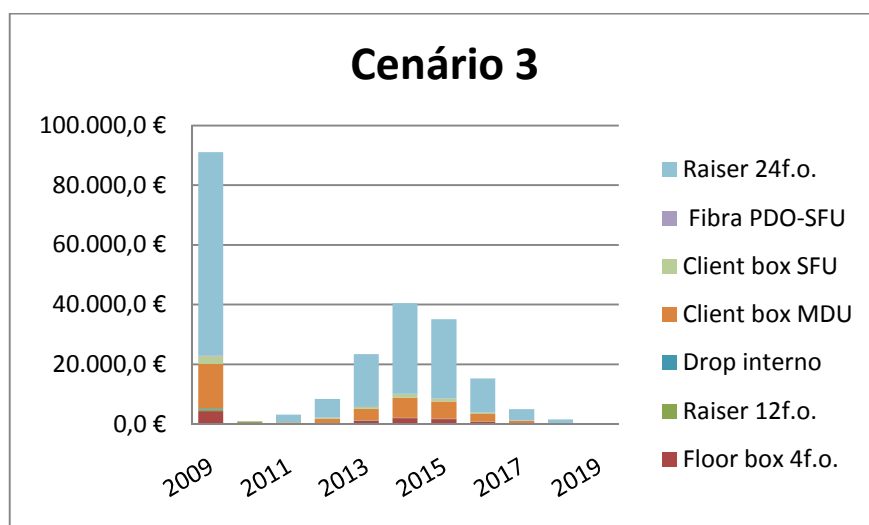


Figura 120 – Investimentos *drop network* para o cenário 3

Também neste segmento de rede, como se pode observar nos gráficos anteriores, o grosso dos investimentos são feitos no ano inicial do projecto. Eles estão associados à instalação de cabos de fibra óptica necessários para ligar todos os pisos dos edifícios (*raisers*) apesar de servir apenas um pequeno número de UAs. Os custos associados aos *raisers* constituem 75% do investimento total. Com o aumento da adesão dos assinantes aos serviços a capacidade dos equipamentos instalados vai ser atingida, e será necessário realizar novos investimentos. Tal como se verificou nos segmentos de rede anteriores, a principal diferença entre os três cenários é nos anos em que esses novos investimentos são feitos. No cenário 1 a taxa de penetração tem uma evolução mais rápida que nos outros cenários, fazendo com que seja necessário investir em novos equipamentos mais cedo. Nos outros cenários a taxa de penetração tem uma evolução mais lenta e, como tal, os novos investimentos serão feitos mais tarde.

Na figura seguinte podem-se observar os investimentos realizados neste segmento da rede, para os 3 cenários, ao longo da duração do projecto.

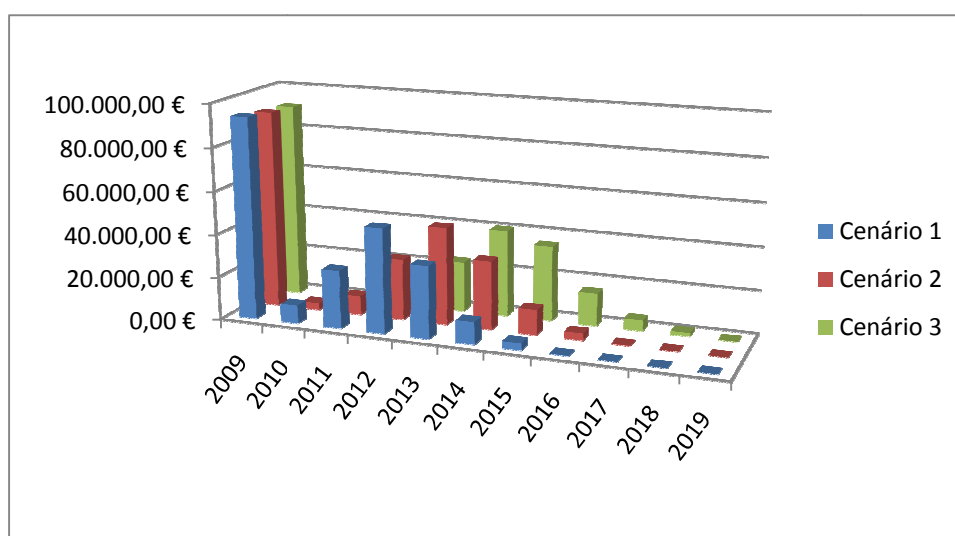


Figura 121 – Investimentos drop network

#### 4.13.4. Visão global dos investimentos

Os investimentos realizados, para esta tipologia, ao longo do período de duração do projecto encontram-se ilustrados na figura seguinte:

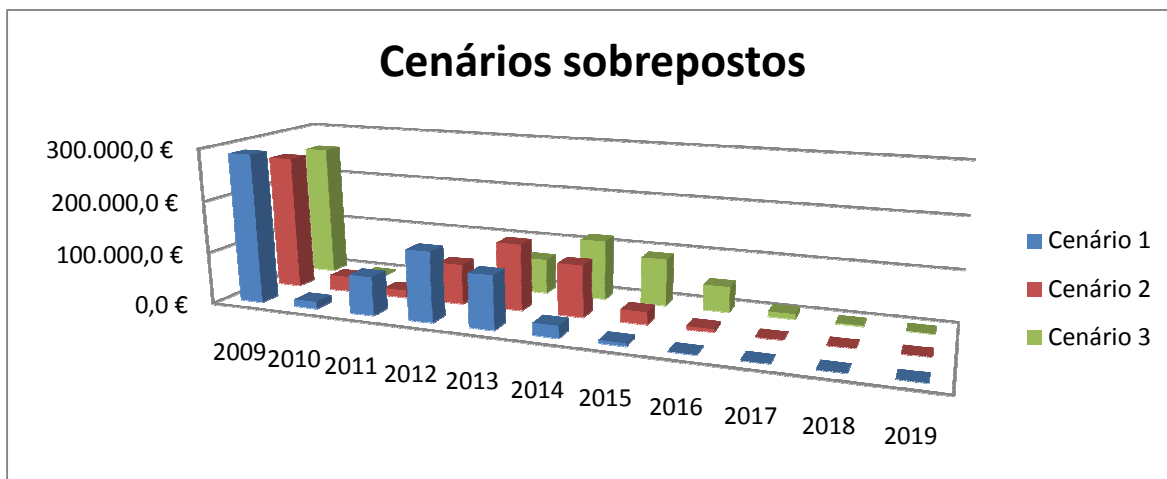


Figura 122 – Investimentos globais Tipologia C

Como se pode observar nesta figura os grandes investimentos (cerca de 45% do investimento total) são feitos no ano inicial do projecto, pois é necessário instalar todos os equipamentos necessários apesar de ir servir apenas um pequeno número de assinantes. Os equipamentos que são instalados logo no primeiro ano do projecto permitem, no entanto servir um grande número de assinantes. Com o aumento da adesão dos assinantes aos serviços a capacidade desses equipamentos vai ser atingida e será necessário realizar novos investimentos. Este facto pode ser observado pelo aumento dos investimentos entre 2011 e 2016. A principal diferença entre os três cenários é nos anos em que esses novos investimentos são feitos. No cenário 1 a taxa de penetração tem uma evolução mais rápida que nos outros cenários, fazendo com que seja necessário investir em novos equipamentos mais cedo. Nos outros cenários a taxa de penetração tem uma evolução mais lenta e, como tal, os novos investimentos serão feitos mais tarde.

Nas figuras seguintes está representada a partição dos investimentos por segmento de rede, para cada cenário:

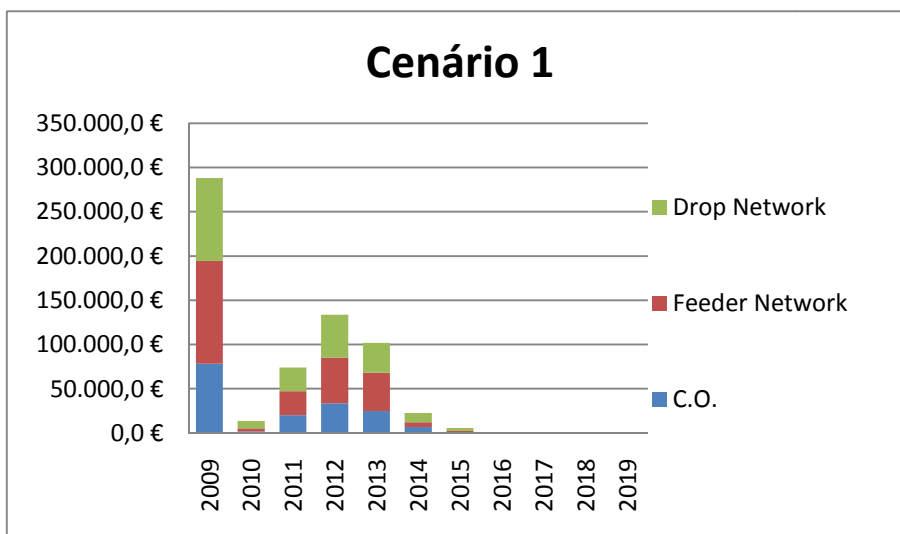


Figura 123 – Investimentos globais para o cenário 1

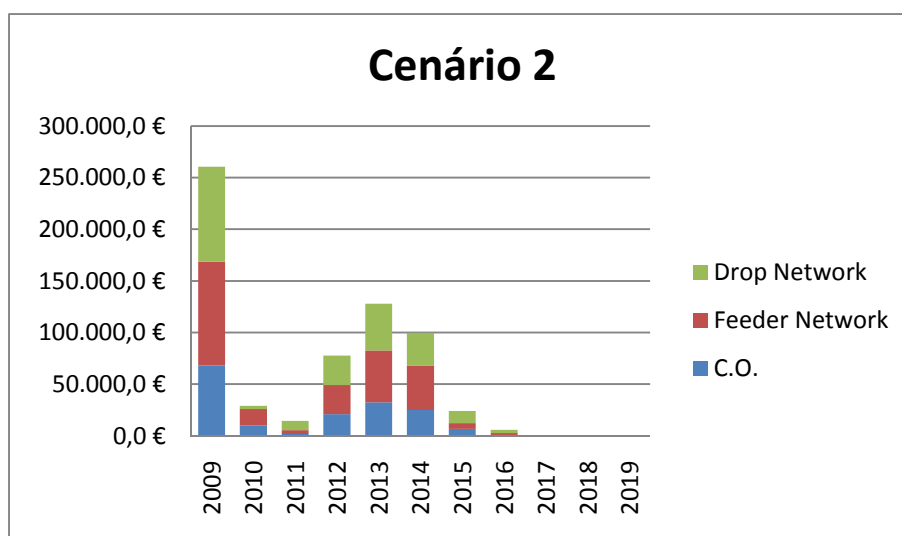


Figura 124 – Investimentos globais para o cenário 2

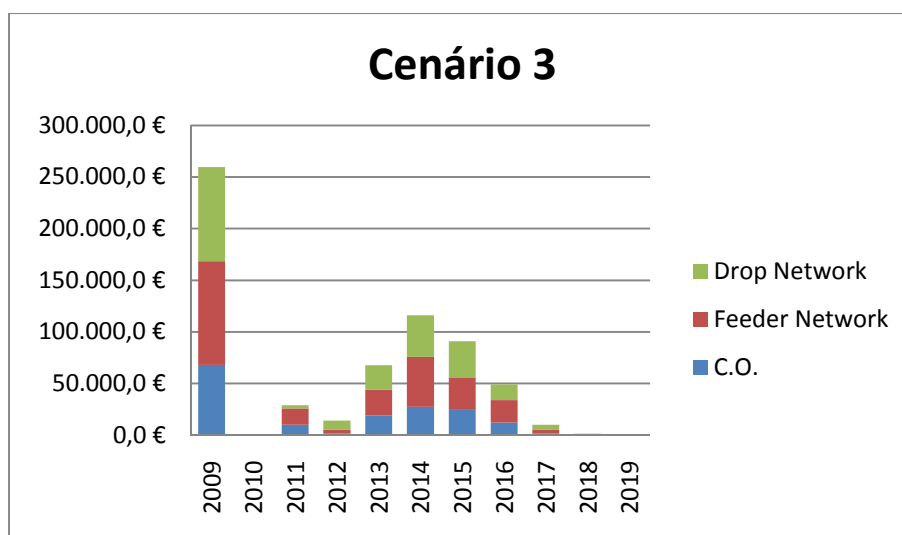


Figura 125 – Investimentos globais para o cenário 3

Nas figuras anteriores pode-se observar que os investimentos efectuados se encontram distribuídos de igual forma pelos três segmentos de rede. Tal como foi referido nas tipologias anteriores, não foram considerados os investimentos em construção civil (abertura de valas, construção de condutas, mão de obra, ...) que levaria a um aumento considerável nos investimentos necessário na *feeder network*.



#### 4.13.5. Receitas

Para o cálculo das receitas é necessário ter em consideração a dimensão do mercado, isto é, o número de potenciais assinantes e a taxa de penetração do serviço. Ao multiplicar este valor pela tarifa anual obtêm-se as receitas anuais.

Tal como foi explicado anteriormente, considerou-se o valor da tarifa no ano inicial do projecto é de 240 €, sofrendo, em cada ano, uma erosão de 3%.

A figura seguinte apresenta as receitas geradas ao longo do período de duração do projecto, para os 3 cenários:

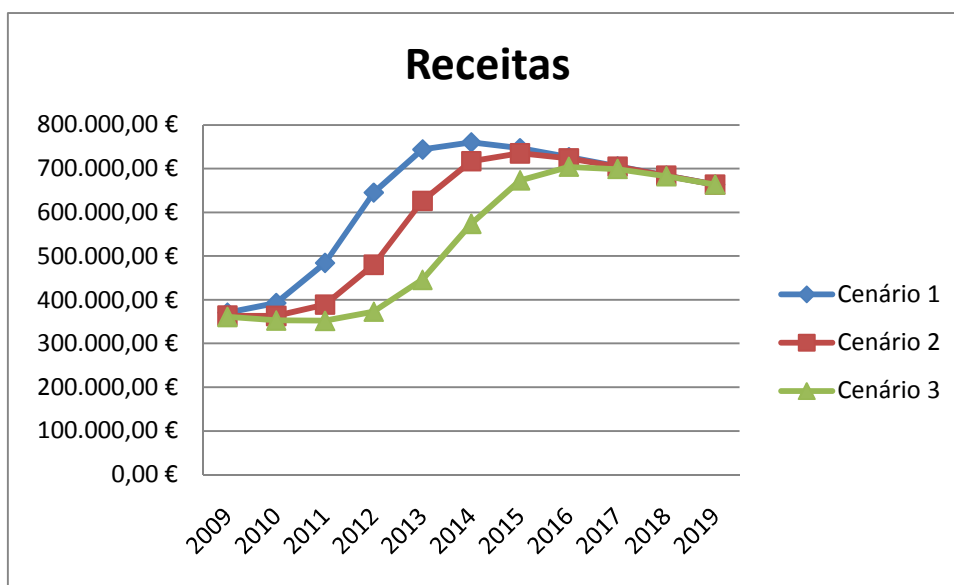


Figura 126 – Receitas geradas

Nos três cenários verifica-se que as receitas geradas vão crescendo, devido ao surgimento de novos clientes, até que a partir de determinado ano passa a haver uma quebra, devido à estagnação do crescimento do número de clientes (saturação) e à redução do preço do serviço. A principal diferença entre os três cenários é o ano em que essa quebra ocorre. No cenário 1 a taxa de penetração tem uma evolução mais rápida que nos outros cenários, e, como tal, a saturação é atingida mais cedo. No cenário 3, o cenário mais pessimista, a taxa de penetração tem uma evolução mais lenta e, como tal, a taxa de penetração de saturação (25%) é atingida mais tarde. Outra diferença nestes cenários é o valor máximo das receitas geradas. Como se pode observar, no cenário1, o mais optimista, o valor máximo é superior ao dos outros cenários. Um aspecto importante a ter em conta quando se pretende calcular as receitas geradas é conhecer o investimento por utilizador servido, para se conhecer a margem de lucro obtida. Essa margem pode ser observada nas figuras seguintes:

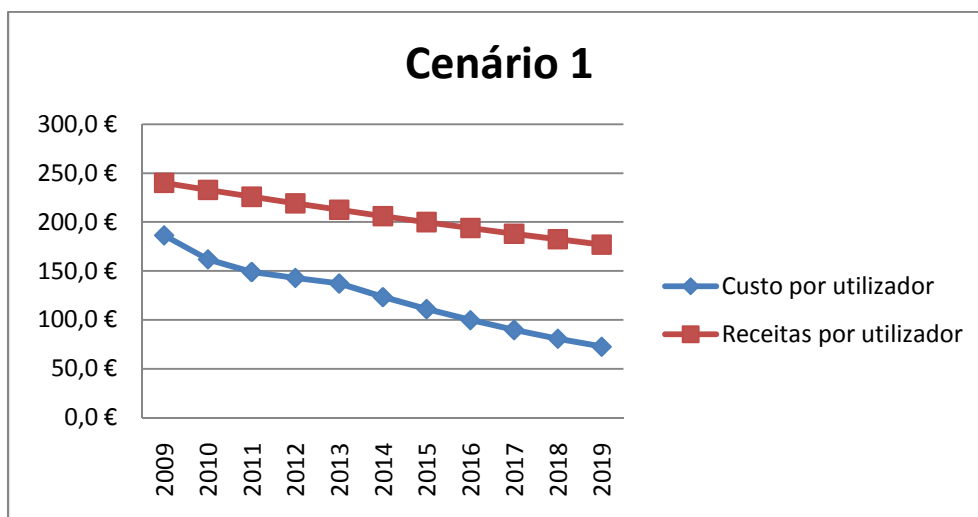


Figura 127 – Comparação entre receitas e custo por utilizador para o cenário 1

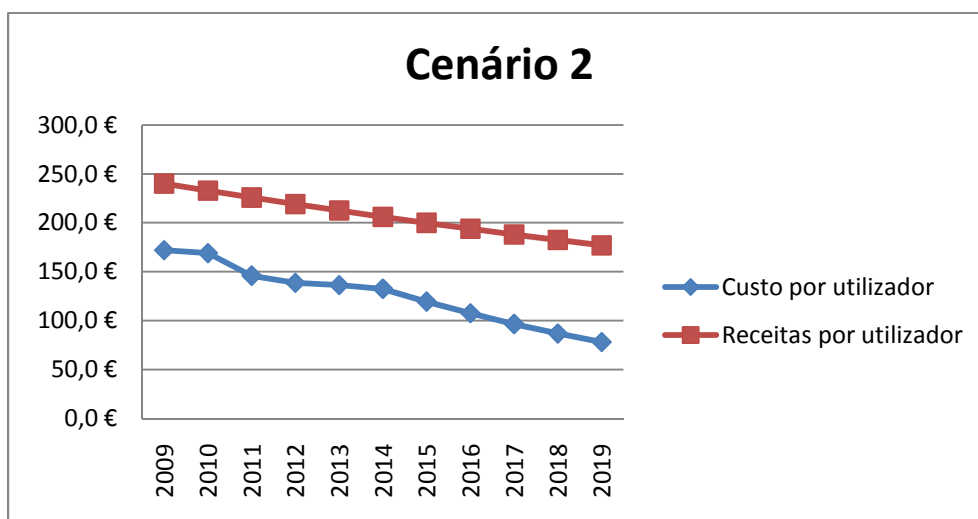


Figura 128 – Comparação entre receitas e custo por utilizador para o cenário 2

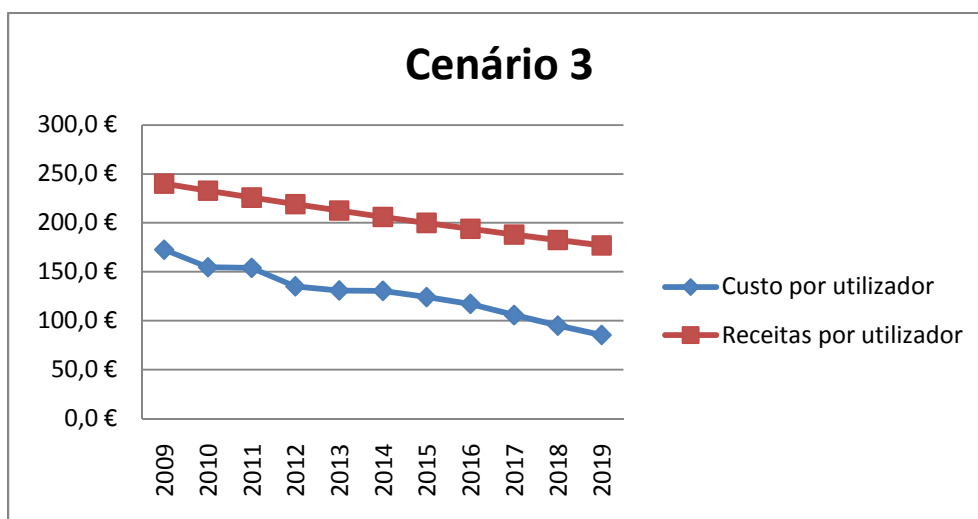


Figura 129 – Comparação entre receitas e custo por utilizador para o cenário 3

Como esperado, com o aumento do número de utilizadores a aderir aos serviços, o custo por utilizador diminui. Inicialmente a margem de lucro obtida é semelhante para os 3 cenários, mas, ao longo do período de duração do projecto, essa margem vai ser superior no cenário 1, em relação aos outros cenários. Isto acontece porque no cenário 1 a taxa de penetração tem uma evolução mais rápida que nos outros cenários, e, como tal, os utilizadores vão aderir mais cedo, fazendo com que o custo por utilizador diminua mais cedo. Nos outros cenários a taxa de penetração tem uma evolução mais lenta e, a diminuição do custo por utilizador será mais lenta também. No entanto, para os três cenários, a diminuição das tarifas anuais é igual, diminuindo a uma taxa constante de 3% por ano. Isto justifica o facto de o cenário 1 obter um valor máximo de receitas mais elevado do que os outros cenários.

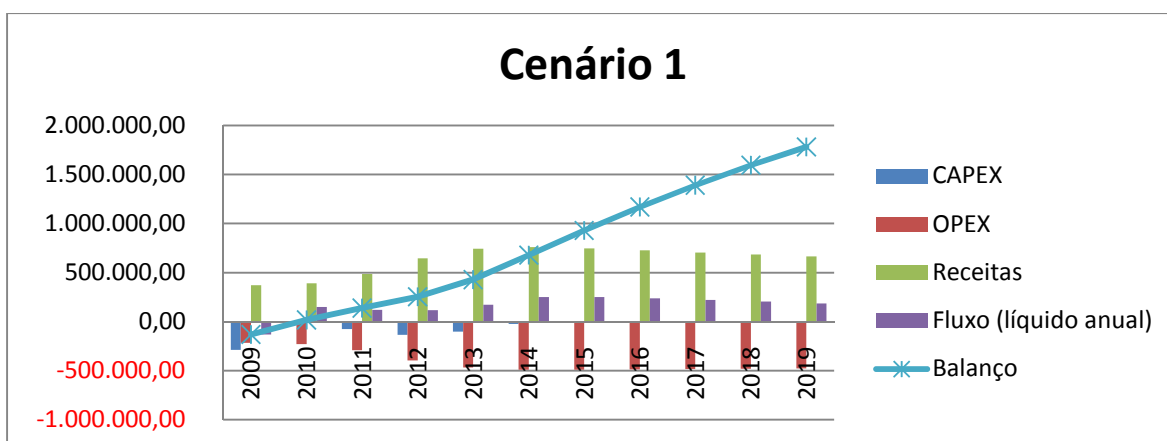
#### 4.13.6. Resultados económicos mais relevantes

Na tabela seguinte são apresentados os resultados económicos mais relevantes para a avaliação do projecto: TIR, VAL e Período de Recuperação.

**Tabela 7 – Resultados económicos**

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
<b>VAL</b>	1.250.013,64 €	1.107.549,62 €	954.794,70 €
<b>TIR</b>	110%	121%	127%
<b>Período de Recuperação</b>	1 ano	1 ano	1 ano

Nas figuras seguintes são apresenta alguns resultados económicos que permitem analisar melhor a viabilidade económica do projecto:



**Figura 130 – Resultados económicos para o cenário 1**

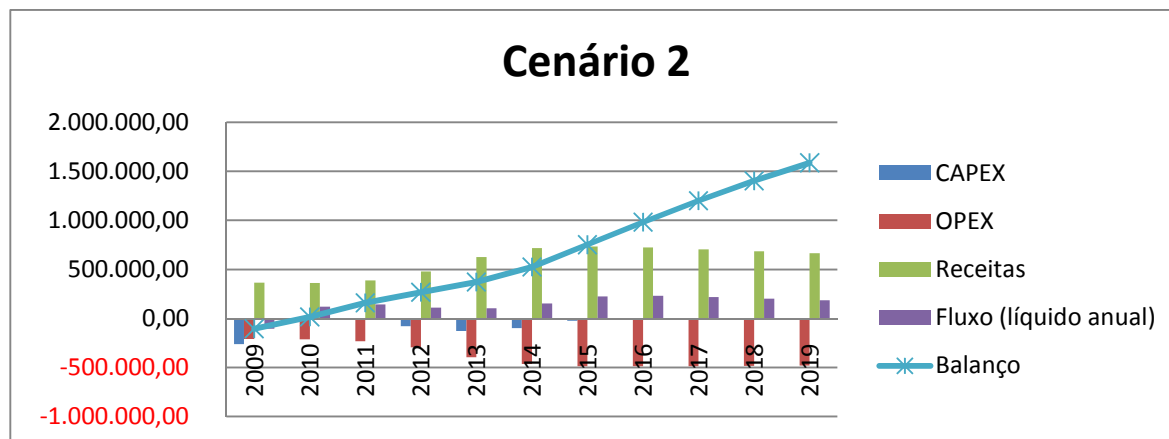


Figura 131 – Resultados económicos para o cenário 2

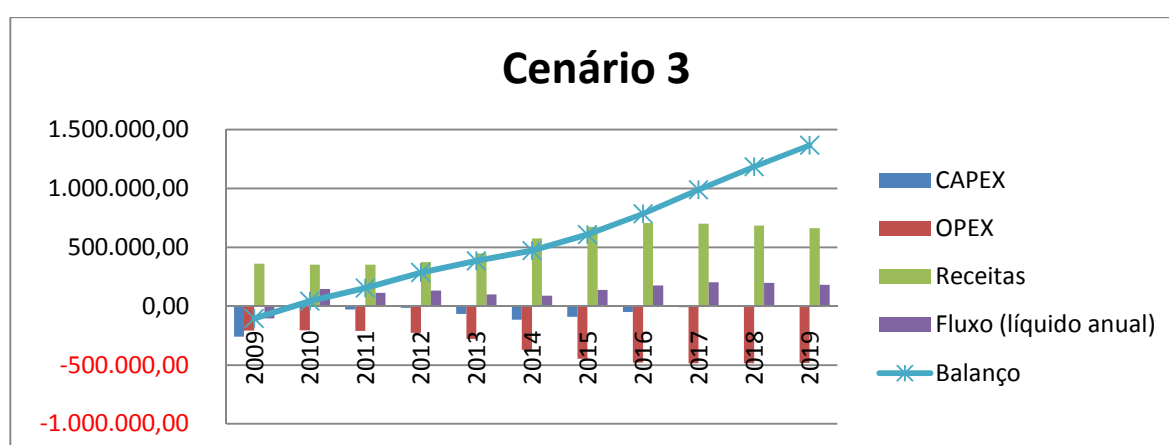


Figura 132 – Resultados económicos para o cenário 3

Nos três cenários o fluxo líquido anual (*cash-flow*) começa a ser positivo logo no segundo ano do projecto (2010) pois uma grande parte dos investimentos é feita logo no início do projecto. No ano seguinte os investimentos caem abruptamente e as receitas vão aumentando com o surgimento de cada vez mais clientes, tornando o fluxo líquido anual positivo. No cenário 1, a partir de 2016 o *cash-flow* decai devido ao decréscimo das receitas. Nos outros cenários esse decaimento acontece mais tarde, devido ao facto de ainda estarem em expansão. No cenário 1 a taxa de penetração tem uma evolução mais rápida que nos outros cenários e, como tal, a saturação é atingida mais cedo e o valor das receitas começa a decrescer mais cedo. Nos outros cenários a taxa de penetração tem uma evolução mais lenta e, por isso, a taxa de penetração de saturação (25%) é atingida mais tarde.

Todos os cenários apresentam um VAL positivo e a Taxa Interna de Rentabilidade é bastante elevada, tornando o projecto atractivo. O Período de Recuperação do Projecto é de um ano para todos os cenários.

#### 4.14. Análise comparativa das três tipologias

Na tabela seguinte são apresentados os resultados económicos mais importantes para a análise do projecto de investimento, nas três tipologias estudadas.

**Tabela 8 – Comparação dos resultados económicos das três tipologias**

<b>Tipologia A</b>	<b>Cenário 1</b>	<b>Cenário 2</b>	<b>Cenário 3</b>
<b>VAL</b>	975.582,18 €	842.068,89 €	702.857,62 €
<b>TIR</b>	55%	54%	54%
<b>Período de Recuperação</b>	3 anos	2 anos	2 anos
<b>Tipologia B</b>	<b>Cenário 1</b>	<b>Cenário 2</b>	<b>Cenário 3</b>
<b>VAL</b>	-2.093.661,65 €	-2.233.356,34 €	-2.382.933,45 €
<b>TIR</b>	-16%	-18%	#NÚM!
<b>Período de Recuperação</b>	11	11	11
<b>Tipologia C</b>	<b>Cenário 1</b>	<b>Cenário 2</b>	<b>Cenário 3</b>
<b>VAL</b>	1.250.013,64 €	1.107.549,62 €	954.794,70 €
<b>TIR</b>	110%	121%	127%
<b>Período de Recuperação</b>	1 ano	1 ano	1 ano

Verificamos que, na Tipologia A, grande parte dos investimentos são feitos no ano inicial do projecto, pois é necessário instalar todos os equipamentos necessários apesar de ir servir apenas um pequeno número de assinantes, embora, estes tenham capacidade servir um grande número de assinantes. Com o aumento da adesão dos assinantes aos serviços a capacidade desses equipamentos vai ser atingida e será necessário realizar novos investimentos. A principal diferença entre os três cenários é nos anos em que esses novos investimentos são feitos. No cenário 1 a taxa de penetração tem uma evolução mais rápida que nos outros cenários, fazendo com que seja necessário investir em novos equipamentos mais cedo. Nos outros cenários a taxa de penetração tem uma evolução mais lenta e, como tal, os novos investimentos serão feitos mais tarde.

Para todos os cenários a margem de lucro obtida é positiva, pois as receitas geradas por utilizar são superiores aos custos por utilizador, tornando esta topologia atractiva.

Nesta tipologia todos os cenários apresentam um VAL positivo e a Taxa Interna de Rentabilidade é bastante elevada, tornando o projecto atractivo. O Período de Recuperação do Projecto é bastante reduzido para todos os cenários.

Na Tipologia B, quase todo o investimento é feito no primeiro ano do projecto, e muito desse investimento é feito considerando 100% de penetração, isto é, alguns dos segmentos da rede são dimensionados para a totalidade dos assinantes. Este facto torna o custo inicial, por utilizador, muito elevado. Com o aumento da adesão dos assinantes aos serviços o custo por utilizador diminui. No entanto este valor é sempre superior à tarifa anual paga por cada utilizador. Devido a este facto, para esta tipologia a margem de lucro será sempre negativa.

Todos os cenários apresentam um VAL e TIR negativos, tornando o projecto pouco atractivo. O Período de Recuperação do Projecto é bastante longo para todos os cenários. Os maus resultados económicos obtidos para esta tipologia são justificados pelo facto de, tal como foi explicado anteriormente, durante o período de análise deste projecto, as receitas geradas serem inferiores ao custo por utilizador e, por isso, o investimento efectuado na rede não vai ser recuperado. Muitos dos segmentos desta tipologia foram dimensionados para servir a totalidade dos assinantes, ou seja, considerando 100% de penetração. Nos 3 cenários analisados, a taxa de penetração de saturação foi de 25% e, como tal, não se conseguiu recuperar os investimentos efectuados. Possivelmente, se se tivesse considerado uma taxa de penetração inicial e taxa de penetração de saturação mais elevadas, ter-se-iam obtido resultados económicos mais atractivos.

Na Tipologia C os grandes investimentos são feitos no ano inicial do projecto, pois é necessário instalar todos os equipamentos necessários apesar de servir apenas um pequeno número de assinantes. Com o aumento da adesão dos assinantes aos serviços será necessário realizar novos investimentos.

Para todos os cenários a margem de lucro obtida é positiva, pois as receitas geradas por utilizar são superiores aos custos por utilizador, tornando esta topologia atractiva.

Nesta tipologia todos os cenários apresentam um VAL positivo e a Taxa Interna de Rentabilidade é bastante elevada, tornando o projecto atractivo. O Período de Recuperação do Projecto é bastante reduzido para todos os cenários. Os valores excessivamente elevados de VAL e TIR, obtidos para esta tipologia são justificados pelo facto de, esta tipologia se destinar a servir pequenas áreas, com um número reduzido de assinantes. No entanto, esta análise foi feita considerando o mesmo cenário urbano que nas outras topologias, obtendo receitas muito superiores ao custo por utilizador. Como tal, o investimento efectuado na rede vai ser recuperado rapidamente.

## 5. Considerações Finais

As tecnologias de telecomunicações tornaram-se um factor primordial para o desenvolvimento económico, cultural e social de muitos países. Num momento em que se operam mudanças bastante significativas no mundo, nomeadamente a globalização da oferta e da procura, a generalização do seu uso constitui hoje um indicador do progresso. As tecnologias contribuem, assim, fortemente para a evolução do nosso mundo e também para o sucesso nas organizações. Proporcionam, ainda, uma maior igualdade no acesso à informação e a todos os outros bens e recursos existentes no mundo de hoje passíveis de disponibilizar através deste meio, e também o aparecimento de novas oportunidades de actividade económico-financeira.

O emprego da tecnologia de telecomunicações apropriada, associada a uma boa rede de telecomunicações, pode garantir grandes benefícios às organizações, às empresas e aos demais utilizadores, tornando-as visíveis e acessíveis a cada vez mais pessoas. Possibilita ainda a disponibilização de novos serviços, o que leva ao aparecimento de inovações tecnológicas que permitem não só aumentar a capacidade de processamento de informações, como também elevar a produtividade, expandir negócios e agilizar as organizações.

A implementação de uma nova rede de telecomunicações tem como objectivos fornecer um acesso mais generalizado aos serviços de banda larga e também infra-estruturas de telecomunicação que permitam aos utilizadores o uso dos serviços e aplicações de banda larga. O desenvolvimento de uma rede de telecomunicações moderna requer um amplo investimento de capital e uma gestão competente de recursos.

A escolha da melhor solução de rede depende de múltiplos factores, pelo que é necessário estudar a viabilidade dos projectos de implementação de redes de telecomunicações. Esse constituiu um dos objectivos que norteou a elaboração desta dissertação. Assim, estudou-se a estrutura e organização das actuais redes de telecomunicações, analisaram-se as tecnologias das redes de interligação, de acesso e de cliente e fez-se um levantamento das suas arquitecturas e soluções de rede. Adquiriram-se também conhecimentos sobre a necessidade de evolução das soluções de rede existentes, de forma a proporcionar um acesso melhor e mais generalizado à informação.

Grande parte deste estudo focou-se nas redes de acesso. Para este segmento de rede estudaram-se os diferentes suportes físicos de transmissão utilizados nas redes actuais: par entrançado de cobre, cabo coaxial de cobre, *wireless* e fibra óptica. Para cada um destes meios de transmissão foram estudadas as diferentes redes de acesso existentes e apresentadas as suas principais características.

Tendo em consideração a importância da fibra óptica no desenvolvimento das redes actuais, identificaram-se as diferentes soluções de rede e as tecnologias para a rede de acesso,

utilizando a fibra óptica como meio de transmissão. Apresentaram-se as diferentes arquitecturas e topologias de rede, e analisaram-se as diferentes tecnologias utilizadas neste segmento de rede.

Realizou-se paralelamente um estudo de viabilidade de projectos de implementação de redes de telecomunicações. Para tal, foi necessário compreender o modo como os custos de implementação e as receitas interagem com o número de habitantes e com a sua distribuição. Para se estabelecer um modelo sobre os custos de implementação de uma nova rede, analisou-se um cenário urbano, em que as principais características foram o número de potenciais assinantes e os tipos de habitações existentes (MDUs ou SFUs). Estas características influenciam as possíveis escolhas de soluções de rede (arquitecturas e tecnologias) para a implementação das infra-estruturas de telecomunicações.

Considerando que a distribuição da população condiciona a instalação das redes de telecomunicações e influencia a arquitectura que pode ser escolhida, foi necessário ter em conta a evolução da taxa de penetração ao longo dos anos. No modelo considerado neste trabalho, estudaram-se três cenários diferentes (optimista, mediano e pessimista) relativamente à evolução da taxa de penetração.

Foi estudada a topologia FTTH, utilizando a tecnologia GPON. Para tal, analisaram-se três tipologias diferentes (Tipologia A, Tipologia B e Tipologia C). Para cada solução tecnológica foram explorados três cenários, cada um apresentando evoluções diferentes da taxa de penetração aos serviços. Para cada tipologia criou-se uma base de dados que apresenta os elementos de custo a utilizar na projecção de redes de acesso e efectuou-se, em simultâneo, uma análise tecno-económica para cada um dos cenários. Para se fazer a análise de viabilidade de cada tipologia foi necessário realizar um estudo que determinasse as possibilidades de sucesso económico e financeiro dessa tipologia. Através deste estudo foram efectuadas previsões dos proveitos e dos custos gerados pelo projecto e calculados diversos indicadores de viabilidade, tais como a Taxa Interna de Rentabilidade (TIR), o Valor Actual Líquido (VAL) e o Período de Recuperação do Investimentos ou *Payback Period*. Das tipologias analisadas, a que melhor se adequa ao cenário urbano estudado é a Tipologia A.

A escolha da melhor solução de rede depende de vários factores pelo que a realização de um estudo de viabilidade de um projecto de implementação de redes de telecomunicações é crucial. Para além dos estudos realizados neste trabalho, há outros aspectos que foram considerados interessantes mas que, devido a limitações de tempo e a algumas dificuldades encontradas (disponibilização de informação sobre os equipamentos e o seu custo), não foram considerados neste trabalho. Seria interessante actualizar a informação das bases de dados sobre os componentes necessários para a implementação da rede, para que esta apresentasse a identificação do componente, o seu custo unitário, o ano a que esse custo se refere (ano de referência) e a identificação do tipo de curva de evolução do preço. Seria, assim, possível calcular-se a evolução dos preços de cada componente em relação ao preço do ano de referência. Ainda relativamente a esta base de dados, seria interessante identificar o tipo de componente do ponto de vista da manutenção ("tempo de vida" de cada componente), pois isso permitiria calcular o



CAPEX de forma mais precisa. Na análise tecno-económica realizada foi apenas estudada a penetração de um tipo de serviço. Seria interessante estudar a sensibilidade desta análise tecno-económica às diferentes classes de serviços (apresentadas na secção 4.4). Outro aspecto que seria interessante estudar, em particular na *distribution network* e *drop network*, seria o dimensionamento destes segmentos, considerando diferentes distribuições das probabilidades de adesão aos serviços para os diferentes cenários.

Face ao exposto, concluo que, apesar das dificuldades encontradas, os objectivos que nortearam a elaboração desta dissertação foram, na sua globalidade, atingidos.



## 6. Bibliografia

1. (2008), "Final report for the Broadband Stakeholder Group The costs of deploying fibre-based next- generation broadband infrastructure"
2. "FTTH Council – Definitions of terms"
3. Allied Telesyn : "Active vs PON.FTTx Technology choices", [www.alliedtelesyn.com](http://www.alliedtelesyn.com)
4. ANACOM (2008), "Estudo sobre o impacto das Redes de Próxima Geração no mercado"
5. Anacom, "CONSULTA PÚBLICA SOBRE A ABORDAGEM REGULATÓRIA ÀS NOVAS REDES DE ACESSO (NRA)"
6. DUARTE, A. Manuel de Oliveira, "Telecommunications Networks and Services: Organisation, Technologies, Markets and Business Models", lecture notes, Universidade de Aveiro, 2008 (V.3)
7. DUARTE, A. Manuel de Oliveira, "Rede e Serviços de Telecomunicações: Conceitos, Modelos e Estruturas Fundamentais das Redes de Telecomunicações", notas de estudo, Universidade de Aveiro, 2009
8. Elixmann, D., D. Ilic, Neumann, K.H., Plückebaum,(2008). "The Economics of Next Generation Access - Final Report."
9. Ethernet Passive Optical Network (EPON) – A Tutorial, <http://www.metroethernetforum.org>
10. [http://macao.communications.museum/images/exhibits/small/2\\_8\\_3\\_2\\_eng.png](http://macao.communications.museum/images/exhibits/small/2_8_3_2_eng.png)
11. [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/1/1b/ADSL\\_Line\\_Rate\\_Reach.gif](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/1/1b/ADSL_Line_Rate_Reach.gif)
12. [http://www.actewagl.com.au/education/\\_lib/images/communications/television/SinglemodeOpticalFibre](http://www.actewagl.com.au/education/_lib/images/communications/television/SinglemodeOpticalFibre)
13. ITU-T Recommendation G.984.1, "Gigabit-capable Passive Optical Networks"(2003).
14. Nowark, D., Murphy, J., "FTTH : The overview of existing technologies".
15. OECD (2008), "Developments in Fibre Technologies and Investment", OECD Digital Economy Papers, No. 142, OECD publishing, © OECD.
16. Shaik, J.S., "FTTH Deployment Options for Telecom Operators"
17. SILVA, Henrique J. A., "Optical Access Networks"
18. Sirbu, M. and A. Banerjee Towards Technologically and Competitively Neutral - Fiber to the Home (FTTH) Infrastructure.
19. S.Wilkinson, "Next-generation PON options promise greater bandwidth", Ligthwave, Julho 2008
20. DUARTE, A. Manuel de Oliveira, "Análise Tecno-Económica de Redes de Telecomunicações", notas de estudo, Universidade de Aveiro, 2009
21. Turma 08/09, "Comunicações Ópticas e Aplicações", 2009
22. [http://www.itu.int/dms\\_pub/itu-t/oth/1D/01/T1D010000050004PDFE.pdf](http://www.itu.int/dms_pub/itu-t/oth/1D/01/T1D010000050004PDFE.pdf)

23. "What's next for Passive Optical Networks",  
[http://www.broadbandproperties.com/2007issues/december07/Dec\\_FTTH\\_WhatsNext.pdf](http://www.broadbandproperties.com/2007issues/december07/Dec_FTTH_WhatsNext.pdf)
24. [http://www.gta.ufrrj.br/ensino/eel879/trabalhos\\_vf\\_2008\\_2/rafael\\_ribeiro/index.html](http://www.gta.ufrrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2008_2/rafael_ribeiro/index.html)
25. Koonen, Ton, "Fiber to the Home/Fiber to the Premises: What, Where, and When?"